



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Lucas Martín Jardín

**CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO COMO  
FERRAMENTA DE MODELAGEM DA DINÂMICA DO  
TERRITÓRIO NA EVOLUÇÃO DAS REDES DE  
INFRAESTRUTURA**

Florianópolis  
2016



LUCAS MARTÍN JARDÍN

**CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO COMO  
FERRAMENTA DE MODELAGEM DA DINÂMICA DO  
TERRITÓRIO NA EVOLUÇÃO DAS REDES DE  
INFRAESTRUTURA**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil -  
PPGEC da Universidade Federal de  
Santa Catarina para a obtenção do  
Título de MESTRE em Engenharia  
Civil.

Orientador: Dr. Carlos Loch.

Florianópolis  
2016

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do  
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.**

Jardín, Lucas Martín

Cadastro Técnico Multifinalitário como ferramenta de modelagem da dinâmica do território na evolução das Redes de Infraestrutura / Lucas Martín Jardín ; orientador, Carlos Loch - Florianópolis, SC, 2016.  
237 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Cadastro Técnico Multifinalitário. 3. Modelagem Dinâmica. 4. Markov Autômato Celular. 5. Redes de Infraestrutura. I. Loch, Carlos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. III. Título.



Lucas Martín Jardín

**CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO COMO  
FERRAMENTA DE MODELAGEM DA DINÂMICA DO  
TERRITÓRIO NA EVOLUÇÃO DAS REDES DE  
INFRAESTRUTURA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 26 de agosto de 2016.

---

Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Carlos Loch, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Rodrigo de Lemos Peroni, Dr.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof.a Liseane Padilha Thives, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Everton da Silva, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Este trabalho é dedicado aos meus  
queridos pais.



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ana e José, por estarem sempre ao meu lado dando-me o apoio e o incentivo de buscar meus sonhos e objetivos na vida, e a meus irmãos por ser a melhor lembrança da minha infância e o presente mais prezado de meus pais.

À Vanesa pela compreensão, companheirismo e por estar ao meu lado em todos os momentos durante o mestrado, e sua família pelo apoio e carinho.

Ao professor Carlos Loch por me aceitar como orientando, pela disponibilidade, paciência, dedicação e atenção dispensada durante este período de formação acadêmica e humana.

Aos meus colegas do Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (LabFSG) por estarem sempre disponíveis a ajudar e compartilhar seus conhecimentos. Aos mestrandos do Laboratório de Rodovias Verdes pela parceria.

Aos meus colegas de mestrado e a todos os meus amigos de Florianópolis que me ajudaram a perseverar no curso e tornaram o dia-a-dia mais prazeroso.

À Prefeitura de Joinville, à Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ) pela disponibilidade e fornecimento das informações. À Companhia de Saneamento Básico “Águas de Joinville” pela total disponibilidade e contribuição desinteressada das informações da pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite para participar da banca de avaliação deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina e ao pessoal da Secretaria de Pós-Graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida no período do mestrado.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização e conclusão deste trabalho.

Muito obrigado!



De nuestros miedos nacen nuestros corajes, y en nuestras dudas viven nuestras certezas. Los sueños anuncian otra realidad posible, y los delirios otra razón. En los extravíos nos esperan los hallazgos porque es preciso perderse para volver a encontrarse.

(Eduardo Galeano, 1989).





## RESUMO

As transformações do território associadas ao crescimento urbano que experimentam as cidades contemporâneas são refletidas nas demandas das redes de infraestrutura, vitais para sua funcionalidade. Estes processos de mudanças são de difícil entendimento pela elevada quantidade de fatores presentes que incidem na ocupação e adensamento urbano. Nesse sentido a proposta desta pesquisa é propor metodologias, instrumentos e técnicas capazes de projetar e representar as transformações ocorridas no território, baseadas nos impactos que a pressão do crescimento urbano produz numa determinada região. Utilizando para isto a ligação do Cadastro Técnico Multifinalitário, vinculando aos órgãos públicos ou privados, como elemento chave no fornecimento das informações territoriais. Informações que representam o cadastro base e às redes de infraestrutura, as quais permitem por meio dos modelos dinâmicos realizar prognósticos da evolução do território urbano à escala da parcela cadastral. Neste contexto, a pesquisa foi desenvolvida no bairro Vila Nova do município de Joinville/SC, escolhido pela dinâmica de ocupação e desenvolvimentos do sistema viário. A metodologia aplicada foi auxiliada pelos Sistemas de Informação Geográfica e programas de simulação de modelos dinâmicos, baseados em processos estocásticos de Cadeia de Markov e Autômato Celular, utilizando também técnicas de lógica Fuzzy, Processo Analítico Hierárquico (AHP), Avaliação Multicritério (MCE) e validação dos resultados em base aos Índices Kappa. Consequentemente, as informações cartográficas e alfanuméricas geradas nas diferentes etapas da pesquisa permitiram analisar as mudanças espaço-temporais verificadas nas demandas da rede de infraestrutura básica, permitindo comparar com a ocupação urbana ocorrida no mesmo período, a incidência dos projetos viários implantados e a validação das contribuições e limitações das projeções de cenários futuros elaborados.

**Palavras-chave:** Cadastro Técnico Multifinalitário. Modelagem Dinâmica. Markov Autômato Celular. Redes de Infraestrutura.



## ABSTRACT

The transformations of the territory associated with urban growth that contemporary cities experience are reflected in of network infrastructure demand, vital to its functionality. These processes of change are difficult to understand by the high number of factors that affect the occupation and urban density. In this way, the purpose of this research is to propose methodologies, tools and techniques to design and represent the transformations occurring in the territory, based on the impact that urban growth produces a particular region. Using for this the Technical Multipurpose Cadastre, linked to public or private bodies, as a key element in the provision of territorial information. Information representing the cadastral base and infrastructure networks, which allow through dynamic models perform predictions of the evolution of urban territory at the scale of cadastral parcel. In this context, the research was developed in the Vila Nova neighborhood municipality of Joinville / SC, chosen by the dynamics of occupation and development of the road system. The methodology applied was supported by Geographic Information Systems and softwares of dynamical modeling simulation based on stochastic processes as Markov Chain and Cellular Automata, also using Fuzzy logic techniques, Analytic Hierarchy Process (AHP), Evaluation Multicriteria (MCE) and validation of results based on Kappa indexes. Consequently, the cartographic and alphanumeric information generated in different stages of the research allowed to analyze the spatiotemporal changes verified by demands of infrastructure network, allowing you to compare with the urban settlement occurred in the same period, the incidence of deployed road projects and validation of contributions and limitations of future scenarios projections.

**Keywords:** Multipurpose Technical Cadastre. Dynamic Modeling. Markov Cellular Automata. Infrastructure networks.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das visões do Cadastro até a multifinalidade. ....	48
Figura 2 - Cadastros Setoriais. ....	52
Figura 3 - Estrutura de sistemas de informação geográfica. ....	57
Figura 4 - Tipo de Dados utilizados no SIG. ....	58
Figura 5- Requisitos para modelagem dinâmica em SIG. ....	67
Figura 6 - Mapa poligonal e sua matriz de proximidade. ....	68
Figura 7 - Delimitação de lotes de um cadastro imobiliário em dois instantes $t$ e $t'$ . ....	70
Figura 8 - Tipos de Modelos. ....	71
Figura 9 - Exemplo de autômato celular. ....	75
Figura 10 - Modelo de Autômato Celular que integra as micro e macro escalas espaciais. ....	77
Figura 11 - Argumentação do método Dedutivo adotado para a pesquisa. ....	83
Figura 12 - Fluxograma sintético do Método adotado. ....	86
Figura 13 - a) Exemplo da Variável Rede de Água da Área de Estudo em formato Raster binário. b) Exemplo do Mapa com escala de cores representando as distancia à Rede de Água, aplicando o Módulo <i>Distance</i> do Idrisi. ....	95
Figura 14 - Exemplo de função de pertinência para conjuntos booleanos (a) e difusos (b). ....	96
Figura 15 - Diagrama de Venn ilustrando a diferença de fronteira entre um conjunto fuzzy e um conjunto booleano. ....	97
Figura 16 - Funções de pertinência <i>Fuzzy</i> do Idrisi 17.0. ....	98
Figura 17 - Exemplo de Mapa padronizado com a função <i>Fuzzy J-shaped Monot. Decrescente</i> no IDRISI 17.0 do fator “Rede de Água” da Área de Estudo. ....	100
Figura 18 - Diagrama de Venn com os resultados da aplicação de operadores de lógica booleana para dois ou mais conjuntos. ....	101
Figura 19 - Exemplo de Mapa da Restrição (Booleano) de ruas, estradas e rodovias na Área de Estudo. ....	102
Figura 20 - Escala contínua de 9 pontos de comparação par-a-par dos pesos de fatores. ....	104
Figura 21 - Espaço de Estratégia de Decisão, método OWA. ....	109
Figura 22 - Exemplo Mapa Raster da Avaliação por Múltiplos Critérios (mapas de aptidão) com o método OWA e WLC da Área de Estudo. ....	110

Figura 23 - Exemplo de uma Matriz de probabilidade de transição....	114
Figura 24 - Exemplos de Probabilidade de transição de algumas das categorias de Usos do Consumo da Água obtidas através do módulo Markov na Área de Estudo.....	115
Figura 25 - Regras de vizinhanças de Von Newman, filtro de Kernel.	118
Figura 26 - Mapa de localização de Joinville/SC. ....	126
Figura 27 - Principais Acessos a Joinville. ....	130
Figura 28 - Bairros de Joinville.....	132
Figura 29 - Esquema dos Planos de Ordenamento Territorial históricos de Joinville. ....	133
Figura 30 - Mapa da Evolução da Mancha Urbana ao longo do tempo em Joinville.....	137
Figura 31 - Distribuição de Densidades Demográficas 2010 na área Urbana de Joinville. ....	139
Figura 32 - Mapa da mancha de ocupação urbana e a densidade demográfica líquida da área urbana de Joinville 2010-2011. ....	141
Figura 33 - Mapa da Evolução do Sistema Viário ao longo do tempo em Joinville.....	143
Figura 34 - Mapa das principais ruas e avenidas da área urbanizada de Joinville.....	145
Figura 35 - Mapa físico, acessos e morfologia urbana do bairro Vila Nova.....	147
Figura 36 - Mapa do tipo da malha viária e centralidade das atividades do bairro. ....	149
Figura 37 - Mapa da evolução da Malha Viária ao contrastado com a distribuição da densidade demográfica do ano 2010.....	151
Figura 38 - Expansão Urbana no Bairro Vila Nova 1989-2007 e Lotes com um ou mais Usos 2015.....	154
Figura 39 - Modelos para ocupação dos bairros proposto por Plano de Estruturação Urbana de 1987.....	155
Figura 40 - Mapa da Planta Cadastral de Vila Nova do ano 2015. ....	158
Figura 41 - Esquema aplicado para ligar as informações alfanuméricas e cartográficas no SIG. ....	160
Figura 42 - Fatores empregados na aplicação do modelo dinâmico. Imagens resultantes do Módulo <i>Distance</i> no Idrisi. S.R. SIRGAS2000 UTM 22°S.....	164
Figura 43 - Restrições empregadas na aplicação do modelo dinâmico. Imagens Booleanas. Sist. de Ref. SIRGAS2000 UTM 22°S. ....	168

Figura 44 - Mapa Raster genérico do Potencial de Aptidão dos Consumos resultantes da Avaliação por Múltiplos Critérios (MCE) com o método OWA do Idrisi no Bairro Vila Nova.	170
Figura 45 - COLEÇÃO DE IMAGENS do Potencial de Aptidão das diferentes Classes de Consumos resultantes da MCE-OWA do IDRISI no Bairro Vila Nova. Sist. de Ref. SIRGAS2000 UTM 22°S.	172
Figura 46 - Mapa Raster das Categorias de Consumo de água potável por lote do ano 2005.	174
Figura 47 - Mapa Raster das Categorias de Consumo de água potável por lote do ano 2010.	174
Figura 48 - Grupo de Imagens de Probabilidades Condicionais das diferentes Classes de Consumo.	176
Figura 49 - Módulo de <i>ca_markov</i> no Idrisi.	177
Figura 50 - Mapa de Usos Projetados ano 2015. Categorias de Consumo de água potável. Resultado da simulação do módulo <i>ca_markov</i> no Idrisi.	179
Figura 51 - Mapa de Usos Real do ano 2015. Categorias de consumo de água potável.	179
Figura 52 - Índices estatísticos de Validação do modelo. Módulo <i>Validate</i> do Idrisi.	180
Figura 53 - Representação das Áreas de Ocupação de cada Categoria de Consumos no bairro.	182
Figura 54 - Mapa de Usos Projetados ano 2020. Categorias de Consumo de água potável. Simulação do módulo <i>ca_markov</i> no Idrisi.	183
Figura 56 - Mapa de Usos Projetados ano 2030. Categorias de Consumo de água potável. Simulação do módulo <i>ca_markov</i> no Idrisi.	184
Figura 55 - Mapa de Usos Projetados ano 2025. Categorias de Consumo de água potável. Simulação do módulo <i>ca_markov</i> no Idrisi.	184
Figura 57 - Evolução das Ligações dos lotes à Rede de Infraestrutura.	186
Figura 58 - Lotes Urbanos, Consumo e Ocupação do ano 2005, 2010 e 2015.	187
Figura 59 - Exemplo de Casas geminadas e demanda do serviço na Vila Nova.	189

Figura 60 - Exemplo de Casas geminadas e demanda do serviço em Vila Nova.....	190
Figura 61 - Exemplo de Casas geminadas e demanda do serviço em Vila Nova.....	191
Figura 62 - Mapa da distribuição de Casas Geminadas e Zoneamento (L.C. n°312/2010) no bairro. ....	192
Figura 63 - Mapa da distribuição dos Prédios com mais de três pavimentos. ....	194
Figura 64 - Condomínios residenciais fechados de maior capacidade.	196
Figura 65 - Lote “9-23-35-31-1627” do bairro Vila Nova. ....	197
Figura 66 - Evolução das Ligações dos lotes à Rede de Infraestrutura segundo a classe de consumo [m <sup>3</sup> ]. ....	198
Figura 67 - Localização dos setores com Potencial de aptidão de crescimento. ....	200
Figura 68 - Evolução e projeção do consumo de água e a Evolução Populacional do bairro Vila Nova. ....	202
Figura 69 - Mapa real e projeção das categorias da media anual de consumo mensal de água potável. ....	204
Figura 70 - Sistema Viário, implantação do Binário no bairro Vila Nova. ....	205
Figura 71 - Evolução do Consumo de água ao redor do sistema Binário em Vila Nova, Distância Euclidiana a 100m e 200m.....	207
Figura 72 - Evolução do consumo e o consumo relativo no Binário. .	208
Figura 73 - Consumo dos lotes representado por extrusão 3D na Zona de Influência do Binário. ....	209



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos tipos de modelos.....	71
Quadro 2 - Crescimento populacional em Joinville.....	138
Quadro 3 - População do Bairro Vila Nova, Joinville. ....	150
Quadro 4 - Intervalo de Classes utilizadas para os mapas de “Usos d’ Água” (categorias de consumos). ....	161
Quadro 5 - Valores e representação das áreas de influência exercidas pelos fatores com a função <i>Fuzzy Monotonic</i> . Decrescente <i>J- shaped</i> . ....	165
Quadro 6 - Pesos dos Fatores com a função <i>Weight-AHP</i> do Idrisi. ...	167
Quadro 7 - Matriz de Probabilidade de Transição 2005-2010.....	175



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de aleatoriedade de Saaty.....	106
Tabela 2 - Exemplo de Pesos de Ordem, Método OWA. ....	109
Tabela 3 - Qualidade da classificação associada ao coeficiente Kappa. .....	122
Tabela 4 - Resume comparativo dos coeficientes Kappa associado à valoração da qualidade de predição. ....	181
Tabela 5 - Relação de Consumos de Água e quantidade de lotes com casas geminadas. ....	193
Tabela 6 - Incidência dos maiores condomínios de Vila Nova no Consumo de Água do bairro. ....	197
Tabela 7 - Taxa de crescimento com relação ao período anterior do Consumo de Água.....	203



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTM	Cadastro Técnico Multifinalitário
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UTM	Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas do ano de 2000
CA	<i>Cellular Automata</i>
MCE	<i>Multi-Criteria Evaluation</i>
OWA	<i>Ordered Weighted Average</i>
WLC	<i>Weighted Linear Combination</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPPUJ	Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville
PEU	Plano de Estruturação Urbana
PBU	Plano Básico Urbanístico
LabFSG	Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>31</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	31
1.2	OBJETIVOS .....	32
1.2.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>32</b>
1.2.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>33</b>
1.3	JUSTIFICATIVA .....	33
1.4	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO .....	34
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>37</b>
2.1	CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO .....	37
2.1.1	Breve história do cadastro .....	37
2.1.2	Diferentes visões do Cadastro.....	40
2.1.3	Conceito de Cadastro .....	42
2.1.4	A multifinalidade do Cadastro .....	44
2.1.5	Cadastrros Setoriais .....	51
2.2	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	53
2.2.1	Introdução .....	53
2.2.2	Definições de SIG.....	53
2.2.3	Função do SIG.....	55
2.2.4	Estrutura de dados no SIG .....	56
2.2.5	Componentes de um SIG .....	58
2.2.6	Integração da informação via SIG.....	59
2.2.7	Aplicações do SIG .....	59
2.2.7.1	<i>Aplicação de SIG no Cadastro Técnico Multifinalitário.</i>	<i>60</i>
2.3	MODELOS DINÂMICOS .....	62
2.3.1	Introdução .....	62
2.3.2	Modelos Dinâmicos em SIG.....	64
2.3.2.1	<i>Espaço e Tempo.....</i>	<i>67</i>
2.3.2.2	<i>Modelos.....</i>	<i>70</i>
2.3.2.3	<i>Autômatos Celulares.....</i>	<i>72</i>
2.4	CRESCIMENTO URBANO.....	78
2.5	REDES DE INFRAESTRUTURA .....	79
2.5.1	Rede Viária.....	79
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO .....</b>	<b>81</b>
3.1	MATERIAIS.....	81
3.2	MÉTODO .....	82
3.2.1	Introdução .....	84
3.2.2	Aquisição e processamento de dados.....	87
3.2.3	Variáveis decisivas das mudanças.....	90

3.2.4	<b>Geração dos mapas de aptidão ou de Probabilidade de Transição .....</b>	<b>93</b>
3.2.4.1	<i>Avaliação por Múltiplos Critérios .....</i>	<i>93</i>
3.2.4.1.1	Padronização dos Fatores e Restrições .....	94
3.2.4.1.2	Ponderação dos Fatores .....	102
3.2.4.1.3	Avaliação Multicritério .....	106
3.2.5	<b>Modelo de previsão de mudança de estágio - Cadeia de Markov .....</b>	<b>111</b>
3.2.6	<b>Modelo de Autômato Celular .....</b>	<b>116</b>
3.2.7	<b>Validação do modelo .....</b>	<b>119</b>
4	<b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>125</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA CIDADE DE JOINVILLE .....	125
4.1.1	<b>Localização .....</b>	<b>125</b>
4.1.2	<b>História de Joinville.....</b>	<b>127</b>
4.1.3	<b>Aspectos físicos.....</b>	<b>127</b>
4.1.4	<b>Aspectos socioeconômicos .....</b>	<b>128</b>
4.1.5	<b>Principais Acessos a Joinville .....</b>	<b>129</b>
4.1.6	<b>Bairros e Distritos.....</b>	<b>131</b>
4.2	CRESCIMENTO E EVOLUÇÃO URBANA .....	133
4.2.1	<b>Síntese do Planejamento Urbano de Joinville ao longo do tempo .....</b>	<b>133</b>
4.2.2	<b>Evolução Urbana e Demográfica de Joinville.....</b>	<b>135</b>
4.3	PLANO VIÁRIO .....	142
4.4	BAIRRO VILA NOVA .....	146
4.4.1	<b>Localização e características .....</b>	<b>146</b>
4.4.2	<b>Evolução do bairro .....</b>	<b>148</b>
4.4.3	<b>Ocupação Urbana .....</b>	<b>152</b>
5	<b>APLICAÇÃO DO MODELO.....</b>	<b>157</b>
5.1	AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS.....	157
5.2	MAPAS DE VARIÁVEIS .....	162
5.2.1	<b>Fatores .....</b>	<b>162</b>
5.2.1.1	<i>Áreas de Influência.....</i>	<i>165</i>
5.2.1.2	<i>Atribuições de pesos aos fatores .....</i>	<i>166</i>
5.2.2	<b>Restrições.....</b>	<b>167</b>
5.3	AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO .....	169
5.4	COLEÇÃO DE IMAGENS.....	170
5.5	MAPAS DE USOS - CLASSES DE CONSUMO DE ÁGUA.....	173



5.6	PROCESSO ESTOCÁSTICO COM CADEIA DE MARKOV.....	175
5.7	MODELO DE PROJEÇÃO .....	177
5.8	CENÁRIOS DE USOS.....	178
5.9	VALIDAÇÃO.....	180
5.10	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO FUTURO.....	182
<b>6</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>185</b>
6.1	CRESCIMENTO URBANO E A DEMANDA DA REDE DE INFRAESTRUTURA .....	185
<b>6.1.1</b>	<b>Crescimento Urbano: Expansão das demandas .....</b>	<b>187</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Crescimento Urbano: Casas Geminadas.....</b>	<b>188</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Crescimento Urbano: Verticalização.....</b>	<b>194</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Crescimento Urbano: Condomínios .....</b>	<b>195</b>
<b>6.1.5</b>	<b>Crescimento Urbano: desatualização .....</b>	<b>197</b>
6.2	PROJEÇÃO DAS DEMANDAS À REDE DE INFRAESTRUTURA.....	199
<b>6.2.1</b>	<b>Áreas com Potencial de Crescimento.....</b>	<b>199</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Projeção das demandas do serviço.....</b>	<b>201</b>
6.3	SISTEMA VIÁRIO .....	204
<b>6.3.1</b>	<b>Estruturador do território e indutor de mudanças...</b>	<b>204</b>
<b>6.3.2</b>	<b>Área de incidência do Binário .....</b>	<b>206</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>211</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>215</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>231</b>
	APÊNDICE A - Consumo dos lotes do ano 2005 representado por extrusão tridimensional no Bairro de Vila Nova.....	232
	APÊNDICE B - Consumo dos lotes do ano 2010 representado por extrusão tridimensional no Bairro de Vila Nova.....	232
	APÊNDICE C - Consumo dos lotes do ano 2015 representado por extrusão tridimensional no Bairro de Vila Nova.....	232
	APÊNDICE D - Consumo dos lotes do ano 2020 representado por extrusão tridimensional no Bairro de Vila Nova.....	232
	APÊNDICE E - Consumo dos lotes do ano 2025 representado por extrusão tridimensional no Bairro de Vila Nova.....	232
	APÊNDICE F - Consumo dos lotes do ano 2030 representado por extrusão tridimensional no Bairro de Vila Nova.....	232



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na atualidade, sobretudo nos países subdesenvolvidos, observa-se uma grande explosão urbana. Este crescimento acelerado e desordenado das cidades é devido a diversos fatores, entre os quais se destaca a imigração populacional do ambiente rural para o urbano. Tal imigração pode ser evidenciada de forma bastante clara em toda a América Latina, dado o contraste do aumento populacional nos grandes centros urbanos, o que causa as grandes aglomerações urbanas e, em contraste, imponentes extensões de terras agrícolas desabitadas.

O Brasil é classificado mundialmente como oitavo país mais populoso, e não povoado. Significa que grande parte da população está concentrada no litoral, e principalmente nas metrópoles. Esta metropolização com frequência é acompanhada pelo crescimento irregular. Estes problemas persistem e remontam a tempos antigos da colonização, onde a exploração e ocupação irregular das terras determinavam a construção de assentamentos precários. Ainda hoje, notam-se, particularmente nas áreas de periferia urbana e de domínio público, os danos causados pela falta de políticas públicas que acompanhem os processos de expansão ordenados, gerando prejuízos à sustentabilidade do território e ao bem-estar da população.

Para a existência de um ambiente equitativo e harmônico, deve-se entender as características básicas de uma cidade, considerada assim, como todo núcleo urbano capaz de organizar o espaço ao redor, criando áreas de influência sobre outros núcleos, dando funcionalidade às principais atividades necessárias para o pleno desenvolvimento de seus habitantes. Onde essas atividades ou usos poderão ser, residencial, comercial, industrial, administrativa, como também, serviços, educativo, cultural, lazer, etc., e estar distribuídas por toda a cidade, acentuadas em determinadas zonas, uma mais que outra.

Além disso, é imprescindível entender a estrutura espacial urbana, as potencialidades e vulnerabilidades, bem como conhecer a evolução histórica da cidade e de seu entorno, que estará submetida e influenciada por diversos processos políticos, econômicos e sociais. A exploração dos fatores mais relevantes dos índices urbanísticos e de infraestrutura permite definir as tendências de expansão territorial da cidade. O dinamismo urbano pode ser entendido e medido de várias

formas: densidade, migração, expansão e também pelas demandas das redes de infraestrutura.

O motivo pelo qual as cidades modernas, desde as pequenas até as megalópoles, são habitáveis e permitem a vida e desenvolvimento de seus atores principais, que são os habitantes, é pela ligação das atividades e usos com as redes de infraestrutura. Estas redes de infraestrutura estão conformadas pelas redes de serviço básico (água, eletricidade, gás, esgoto, etc.) e pelas redes de acessibilidade e mobilidade (rede viária e de transporte), que mantêm ativa a cidade e as pessoas, e ocasionam o adensamento populacional o que gera uma sobrecarga às infraestruturas disponíveis.

As redes de infraestrutura se estruturam basicamente no espaço público, mas a finalidade é de chegarem à propriedade particular, que é que demanda seus serviços. Nesse sentido, entender o espaço público e o privado ajuda a traçar as premissas da distribuição espacial, sendo o cadastro uma ferramenta essencial do levantamento espacial, de respaldo jurídico, e valorização do imóvel. O cadastro é encarregado da cartografia base, e constitui o registro público oficial e sistemático do território, sendo baseado no levantamento dos limites de cada parcela.

O estudo da parcela cadastral vinculada às redes de infraestrutura nos leva ao campo de aplicação do cadastro multifinalitário, conceito necessário para compreender as ligações existentes entre as instituições encarregadas das redes de infraestruturas, o poder público com o cadastro base, e os usuários das parcelas. Como resultado do dinamismo das atividades humanas dentro da cidade, são estimuladas as transformações das redes de infraestrutura que, analisadas de uma perspectiva da modelagem dinâmica, permitem avaliar os principais vetores de crescimento e tendências de ocupação.

Desse modo, a implantação de geotecnologias aplicadas ao cadastro técnico multifinalitário fornece a possibilidade, junto aos modelos dinâmicos, de criar cenários futuros, que permitem obter a capacidade de prevenir algumas ações da lógica da necessidade humana.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia capaz de projetar e representar as transformações ocorridas no território, baseadas nos impactos que a pressão do crescimento urbano produz numa determinada área, para

contribuir no planejamento estratégico integrado das áreas urbanas e rurais, servindo como suporte na gestão territorial das instituições envolvidas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- a) Avaliar o cadastro técnico multifinalitário como ferramenta no fornecimento de fatores que procurem explicar as transformações urbanas no tempo;
- b) Demonstrar a aplicabilidade dos modelos dinâmicos ligados aos cadastros setoriais, procurando obter avaliações integradas sobre as mudanças e dinâmicas territoriais;
- c) Determinar a incidência da rede viária na evolução do território à luz do crescimento urbano.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

As transformações do território, associadas ao crescimento urbano que experimentam as cidades contemporâneas, são refletidas nas demandas das redes de infraestrutura, vitais para sua funcionalidade. Estes processos de mudanças são de difícil entendimento devido à elevada quantidade de fatores presentes que incidem na ocupação e adensamento urbano.

Nos países desenvolvidos, tem-se uma mentalidade cadastral mais aguçada, evidenciando-se que existe um equilíbrio entre a oferta e demanda de infraestrutura viária e de serviços básicos, segundo a demanda populacional. Por outro lado, nos países em desenvolvimento, em geral, se considera a infraestrutura um elemento oneroso, causando realidades caóticas em muitas cidades, gerando problemas sociais e ambientais, dada a falta de uma oferta sistemática de infraestruturas essenciais como água e saneamento básico para os usuários.

O crescimento populacional nos centros urbanos é uma realidade que tem perspectiva de incrementar-se no futuro. Nesse sentido, servir a toda essa nova população requer uma correta e planejada administração dos recursos do estado, de modo a serem evitadas situações de colapso de alguma das redes de infraestrutura utilizadas.

Dado o exposto, a pesquisa está fundamentada a partir da concepção de oferecer uma proposta de ferramenta que tenha a função de identificar no espaço, quantificar, modelar e projetar as demandas crescentes das redes de infraestrutura, apoiando-se no cadastro técnico

multifinalitário e em sistemas de informação geográfica, aplicando-os às instituições encarregadas do planejamento integrado e gestão territorial. Como estas demandas, no caso do serviço de fornecimento de água potável, não dependem unicamente da infraestrutura que abastece ao lote urbano, senão também da disponibilidade do recurso, que certamente é cada vez mais escasso.

## 1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho de pesquisa está organizado em 7 capítulos:

- Capítulo 1 – INTRODUÇÃO, contém a parte introdutória, as considerações da pesquisa, os objetivos traçados e as fundamentações do tema abordado.
- Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, se apresenta fundamentação teórica da pesquisa e breve histórico dos tópicos desenvolvidos no trabalho, tais como o Cadastro Técnico Multifinalitário, Sistemas de Informação Geográfica, Modelos Dinâmicos, Crescimento Urbano e Redes de Infraestrutura urbana.
- Capítulo 3 – MATERIAIS E MÉTODO, descreve os Materiais e Método, apresenta o fluxograma sintético e fundamentação teórica das etapas do método e justificativa dos critérios e parâmetros adotados.
- Capítulo 4 – ÁREA DE ESTUDO, aborda a caracterização da área de estudo, contextualiza a cidade de Joinville/SC, seus aspectos mais relevantes, e dentro dela ao bairro de Vila Nova, local de estudo, onde se apresenta a descrição da localização, características físicas, socioeconômicas, evolutivas de ocupação urbana e referências da legislação envolvida no planejamento e estruturação urbana do bairro.
- Capítulo 5 – APLICAÇÃO DO MODELO, contém a aplicação do modelo dinâmico, são aqui descritos os dados utilizados, a aplicação dos programas, a ligação das informações e a obtenção dos resultados cartográficos e alfanuméricos das diferentes etapas do método.
- Capítulo 6 – ANÁLISES DOS RESULTADOS, são analisados os resultados do estudo, abordando os produtos gerados na aplicação do modelo, a identificação espacial do fenômeno, a quantificação, o modelado e a projeção das

demandas crescentes das redes de infraestrutura apoiada no CTM e o SIG.

- Capítulo 7 - CONCLUSÕES, reúne as considerações finais e conclusões reflexivas dos principais tópicos analisados nos anteriores capítulos, assim como as recomendações relevantes ao aprimoramento futuro do método aqui proposto.





## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

#### 2.1.1 Breve história do cadastro

Quando se analisa o Cadastro, existem diferentes visões que descrevem o significado da palavra, diversas definições são usadas ao redor do mundo, podendo ter mais de um significado, que levou aos estudiosos a dizer que a palavra cadastro não possui origem etimológica definida.

O dicionário da Real Academia Espanhola (DRAE) expõe que, o Cadastro deriva do francês antigo *Catastre*, este do italiano dialeto *Catastro*, este do antigo *Catastico*, e este do grego bizantino *κατάστιχον*, que significa “linha por linha”. Definindo ao Cadastro como “recenseamento e padrão estatístico das parcelas rurais e urbanas”.

Entanto a definição do Cadastro do dicionário Michaelis da língua portuguesa diz que, o Cadastro “é um registro público no qual se descrevem a extensão e valor dos imóveis pertencente a um município, estado ou país”.

Numerosos são os exemplos que se podem encontrar na literatura sobre os cadastros na história da civilização, onde um dos primeiros cadastros a destacar é do Egito Antigo, aproximadamente 3000 a.C. As terras situadas no Vale do rio Nilo eram a base da produção agrícola da civilização egípcia, sua fertilidade se devia a um fenômeno natural de inundação do rio, onde se depositava o húmus nas terras de suas margens, e isto acontecia anualmente, no período de julho a outubro.

A importância dessas terras com potencial produtivo levou a gerar um cadastro com os limites das parcelas das propriedades, onde os técnicos denominados “esticadores de corda”, por levar cordas de comprimento conhecido, faziam a demarcação dos limites das parcelas depois das cheias anuais concordando com os dados prévios da propriedade. Esta medição feita pelos funcionários do Faraó garantia a superfície da terra aos agricultores, que ao ter o registro do solo emitido, dava direito e obrigação de cultivar a parcela, garantindo a posse frente a reclamações de terceiros, podendo ser destituído o direito, unicamente por decisão das autoridades do estado egípcio (LUZ, 1997).

Na Roma antiga, assim o descreve Alcázar Molina (2007), fazia um grande trabalho de cadastro, mediante processos técnico-jurídico-administrativo, onde se entregavam aos legionários licenciados

(«*adsignatio*») lotes de terrenos conquistados e documentava-se o procedimento nas tabelas de bonce, madeira ou mármore (denominado «*formas*») que tinham informação cadastral, tal como: extensão de cada parcela, nome dos proprietários, lotes demarcados e categoria, origem e regime jurídico. Fazendo duas cópias que eram arquivadas e outra era custodiada no «*Tabuarium de Roma*». Este imenso trabalho cadastral em Roma se justificava, pelos benefícios diretos ou indiretos que gerava. Entre as vantagens que resultavam dos esforços económicos e humanos, se destacavam:

- Garantia documental da propriedade privada e os limites das parcelas frente a terceiros.
- Garantia a permanência de uma população estável, que era possuidora e proprietária dessas terras, fomentando a estabilidade social.
- Melhorava o aproveitamento dos recursos disponíveis na região, na qual a infraestrutura de comunicação era mantida pelos próprios moradores da área.
- O tamanho da parcela era suficientemente ampla para que pudessem morar os colonizadores assentados e também garantir por meio da produção agrícola, o abastecimento de alimentos às cidades próximas.
- Configurava-se uma magnífica fonte de financiamento estatal ao ser posto em tributação as terras, se conhecia a base imponível (rendimento potencial) e o sujeito passivo do imposto (titular).

Após da revolução na França, o governo de Napoleão Bonaparte decretou o levantamento cadastral de todo o território nacional, assim como as terras ocupadas, com a finalidade principal de criar um estímulo à cidadania, e gerar uma justa arrecadação de tributos dos proprietários de bens imóveis (PHILIPS, et al., 2000).

O precursor dos princípios e finalidades do cadastro técnico de imóveis rurais como modernamente é conhecido, assim expressou Erba (2005), pode-se atribuir a Napoleão com a nova visão de colocar o cadastro ao serviço do Direito Civil em seu novo Código, dizendo: “um bom cadastro parcelário será o complemento do código no que se refere à posse da terra. É necessário que os mapas sejam suficientemente precisos e detalhados para fixar limites e evitar litígios”.

Em referência à América Latina e a implantação de cadastros, o primeiro exemplo que se tem é em 1924 na Argentina, por meio do

decreto se aprova a constituição da “Comissão Topográfica”, que tinha por objetivo proteger os direitos territoriais do solo na província de Buenos Aires. As funções mais importantes de realizar nos Departamentos Topográficos eram as delimitações territoriais (limites interestaduais, parcelamento de lotes fiscais, medição para traçados de ferrovias, etc.), intervir em processos na justiça por mensuras, ante a precariedade da descrição dos títulos e, além disso, gerar registros de contribuintes para arrecadação dos impostos (BOSCH, *et al.*, 2007).

No caso do Uruguai, os primeiros passos em cadastro se deram logo após da proclamação da independência desde o Juramento da Constituição em 1830, um ano depois se cria, tal como aconteceu no país vizinho, a Comissão Topográfica com o objetivo de reunir os dados e documentos para a formação da Carta Topográfica da República, determinar a posição geográfica, fazer os planos de mensura que acompanhem o título de propriedade, limites e demarcações em terras públicas e particulares, assim como fixar métodos e responsabilidades dos agrimensores, etc. (BOSCH, *et al.*, 2007).

Atualmente as terras que ocupam o território brasileiro foram, por direito de conquista, da nação portuguesa, logo passaram às mãos do Império. Na época da colônia, o governo português concedeu terra à nobreza e a todo português que quisesse povoar o território, esta transferência de propriedades se denominava “sesmaria”, sendo isto a origem da ramificação da propriedade imóvel em Brasil. Em 1822 se suspende a concessão das sesmarias, gerando um clima de insegurança na propriedade da terra, posto que prevalecia a posse e ocupação das terras. Isto começa a mudar em 1824, quando foi promulgada a Constituição Política do Império, que garantia o direito de propriedade privada, impondo que esta cumpra com sua função social (VERONEZ, *et al.*, 2004; ERBA, 2008).

No ano 1850, com a Lei N°601 se começa a organizar a estrutura parcelaria do país, dando forma aos inícios do cadastro brasileiro, criando por parte do Império, a Repartição Geral de Terras Públicas. Por meio do decreto N°1318 de 1854 se regulamentou a lei, com o fim de promover a colonização estabelecendo pautas para a medição, divisão e descrição das terras públicas, como para a fiscalização de sua distribuição e venda pelo que estas tarefas que deviam ser feitas por profissionais devidamente habilitados (VERONEZ, *et al.*, 2004; ERBA, 2008).

## 2.1.2 Diferentes visões do Cadastro

Nas visões atuais do cadastro, as definições de Henssen no Seminário celebrado em Delft (Holanda) no ano 1995, deram a base para os trabalhos posteriores que originaram como resultante ao “CADASTRO 2014, uma visão para um sistema Cadastral Futuro”. A definição que o acadêmico faz sobre o Cadastro afirma que, “Cadastro é um inventário metodicamente ordenado de dados sobre as propriedades de um país ou distrito, baseado na medição de seus limites. As propriedades são sistematicamente identificadas por meio de alguma designação distintiva. Os limites da propriedade e o identificador da parcela se indicam normalmente em mapas a escala grande, que junto com outros registros, podem mostrar para cada propriedade distinta, a natureza, o tamanho, o valor, e os direitos legais associados com a parcela” (KAUFMANN, *et al.*, 1998).

Uma ampliação do exposto por Henssen em 1995, como foi mencionado, é o trabalho desenvolvido pelo Grupo 7.1 da Federação Internacional de Geômetras - FIG sobre a reforma cadastral, que conclui em 1998 com a apresentação de um manual titulado *CADASTRE 2014, A Vision for a future Cadastral System*, na qual tendo em vista não só aspectos legais da propriedade privada, ademais aspectos do direito público. De modo que define o cadastro como, “um inventário público, metodicamente ordenado, de dados concernentes a todos os objetos territoriais legais de um determinado país ou distrito, baseado na medição de seus limites. Tais objetos territoriais legais se identificam sistematicamente por meio de alguma designação distintiva. Isto se define por lei, correspondentes ao direito público ou particular. A delimitação da propriedade, o identificador, junto com a informação descritiva, pode mostrar para cada objeto territorial distinto, a natureza, o tamanho, o valor e os direitos ou restrições legais associadas com o objeto territorial” (KAUFMANN, *et al.*, 1998, p.15).

O Comitê Permanente sobre Cadastro Ibero-americano (CPCI), constituído por instituições de 19 países, tem o proposito de elaborar políticas para o desenvolvimento do cadastro para os países membros. Na 3ª reunião do CPCI celebrada na cidade de Cartagena de Índias, Colômbia, no ano 2009, na “Declaração de Cartagena” definiu-se a funcionalidade do Cadastro como:

O Cadastro tem como função a criação e manutenção atualizada do inventário da parcela dos países, de sua informação física, econômica,

jurídica de acordo com a normativa vigente de cada país; constituindo-o em uma ferramenta básica para o planejamento territorial, o desenvolvimento econômico e social, por o que deve estar ao alcance das instituições e dos particulares que a requeiram.

A Declaração de BOGOR, concebida na Reunião Inter-regional da Organização das Nações Unidas (ONU) de especialistas em Cadastro, Bogor (Indonésia), no ano 1996, se tomou como válida a definição elaborada pela FIG, em que afirma: "Um Cadastro é normalmente um sistema de informação baseado na parcela, que contém um registro de direitos, obrigações e interesses sobre a terra. Normalmente inclui uma descrição geométrica das mesmas unidas a outros arquivos que descrevem a natureza dos interesses de propriedade ou domínio e, geralmente, o valor das parcelas e das construções que existem sobre elas".

A OPCC (*Permanent Committee on Cadastre in the European Union*), Euro Geographics (*International no-profit Association of the European cadastre, land registry and national mapping authorities*), ELRA (*European Land Registries Association*), EULIS (*European Land Information Service*) e CLGE (*The Council of European Geodetic Surveyors*), têm uma visão comum referente à cooperação no Cadastro e o Registro da Propriedade para os países membros, na qual se expressa dizendo:

A sociedade reconhece que a informação Cadastral e de Registro de Terras na Europa são fundamentais para uma sustentabilidade econômica, social e um desenvolvimento ambiental; e a informação e serviços das instituições de registro Cadastrais e de Terras em toda Europa são constantemente atualizadas e adaptadas para conhecer as necessidades de propriedade, avaliação e uso da terra e desenvolvimento das funções da terra tanto a nível nacional como europeia.

Para alcançar estas metas, as instituições, propuseram os seguintes objetivos:

1. Conscientizar aos atores da tomada de decisão que, a informação de Registro de Terras e Serviços é fundamental para assegurar a tendência da terra, uma valoração confiável dos imóveis, um uso eficiente da terra e desenvolvimento das funções sustentáveis da terra.

2. Promover para que forneçam, o Cadastro e o Registro de Terras as informações e estado de arte dos serviços, conhecendo as necessidades dos usuários públicos ou particulares.
3. Cooperação para facilitar a comunicação com as instituições europeias para promover nossa visão comum.

Pode evidenciar-se nas visões do cadastro realizadas por estas instituições da União Europeia, que têm perspectiva focadas à integração e cooperação dos dados e informações referidos à terra, uma orientação mais social e não só técnica, tentando evoluir para a instrumentação do Cadastro sustentável ao alcance de todos os cidadãos da União Europeia.

### **2.1.3 Conceito de Cadastro**

Uma definição geral do cadastro exposta por Williamson (1983) afirma que, o Cadastro é um completo e atualizado inventário oficial das parcelas territoriais de um determinado país, estado ou jurisdição, baseado no levantamento dos seus limites. Que contém informações sobre as titularidades das parcelas, valor do imóvel, localização, superfície, uso de solo da parcela, como também o referido às construções existentes. Acrescentando que a parcela é unidade básica do cadastro legal.

Para Bähr (1982 *apud* MARTINS, 2000), o cadastro deve ser entendido como o sistema de registros, feitos de forma descritiva e apoiado em uma base cartográfica de dados, que vão caracterizar uma determinada área de interesse. Para a implantação de um sistema cadastral deve-se contar com informação geométrica, legal e uso do solo ou finalidade a que se destinam as parcelas, etc.

O mesmo autor agrega que o necessário para conseguir a implantação de um sistema cadastral, de forma básica, estará determinado por um maior número de informações, abrangendo toda a área em pesquisa; deve ser ligado ou integrado ao mapeamento sistemático nacional; deve servir para múltiplas finalidades; e deve ser atualizado constantemente para uma maior confiabilidade das informações.

Para Molina (2007), o Cadastro foi e será uma ferramenta indispensável para todas aquelas atuações que tem o território como seu centro de atividade. A captura de informações de caráter físico, jurídico

e econômico, de todos dos imóveis de um país, convertem a esta base de dados como elemento de referência para administrações públicas e privadas.

Larsson (1996) interpreta, que em essência, um cadastro é uma descrição sistemática das unidades de terra dentro de uma área. De modo que, tal descrição é feita através dos mapas que identificam a demarcação dos limites de cada unidade, e também pelos registros ou arquivos, que contêm como informação essencial o número de identificação e a área da parcela, pelo qual é diferenciado por classe de uso de solo. Dando a reconhecida importância do cadastro técnico na gestão territorial dos municípios, sobretudo quando trata-se da tributação dos imóveis, sendo este o principal fim que definiu a sua instituição em tempos anteriores. Além disso, o cadastro tem o potencial de contar com uma grande quantidade de dados das atividades do homem que se relacionam com um pedaço específico de terra, que vão a ter outra finalidade além da tributária, sejam a legal, tomada de decisões, etc. (SILVA, 2002).

Conforme Loch (1990), o cadastro técnico é a base de trabalhos de planejamento regional, dando ao planejador, todos os elementos que caracterizam a região. Podendo atingir desde os trabalhos de apoio de campo até a geração das cartas. De tal forma que o cadastro técnico tem a capacidade de identificar e dar solução aos problemas de demarcação, titulação, imposto predial e uso racional de terras nas propriedades de uma região.

De acordo com a definição de Erba, Oliveira e Lima Junior (2005), um registro público sistematizado dos bens imóveis de uma jurisdição contemplada nos seus três aspectos fundamentais: o jurídico, o geométrico e o econômico, é o que se denomina o Cadastro Territorial. De modo que a instituição que governa tem por finalidade ajudar a publicidade e garantir os direitos reais, efetuar uma justa e equitativa distribuição da Carga Tributária e servir de base indispensável para o planejamento territorial e da obra pública.

O mesmo autor afirma ainda que a concretização disto pressupõe uma metodologia para instrumentá-lo, uma longa e complexa tarefa para executá-lo, uma organização administrativa para conservá-lo e um aporte constante de informações para mantê-lo atualizado.

O definido pelos anteriores autores, Carneiro (2000) agrega, que para que um cadastro seja completo deve conter informações referentes a todas as parcelas territoriais, públicas e privadas, urbanas e rurais.

## 2.1.4 A multifinalidade do Cadastro

O apresentado até aqui, tanto a história, como as considerações de diferentes autores com relação do cadastro, e antes de ingressar na análise da multifinalidade do cadastro, é apropriado fazer uma breve introdução dos diversos tipos de cadastro que foram desenvolver-se ao longo da história e que somados a outros fatores, se logrará a multifinalidade, com um panorama conceitual que descreva os múltiplos propósitos que tem esta disciplina.

Em relação à cronologia do cadastro, observar-se alguns exemplos conhecidos ao longo do tempo, onde foram implantando os diferentes cadastros. Como é o caso do cadastro econômico, que está presente no antigo Egito, às margens do rio Nilo, onde os agricultores buscavam os terrenos da orilha, porque estas eram as terras mais férteis, portanto, mais lucrativas. Em consequência começaram a avaliar as propriedades com base no potencial agrícola que teriam as parcelas, para determinar o imposto que deviam contribuir para a arrecadação.

Logo se pode destacar o cadastro Geométrico, que nasce da necessidade de demarcação dos limites territoriais e fazer perduráveis no tempo. Com isto surgiu a cartografia, que foi acompanhada de instrumentos de medição para dar a precisão necessária para diminuir os conflitos em relação às parcelas vizinhas.

Por outro lado, o cadastro jurídico, representado pela propriedade do imóvel, e que tem suas origens na criação do código civil Napoleônico na França, que adota como ferramenta o cadastro, para que este descreva o imóvel, conectando assim, o espaço territorial como valor econômico que nascem desta porção, como proprietário, dono ou detentor do imóvel, fazendo à pessoa física ou pessoa jurídica, com diretos adquiridos sobre aquela parcela e o que ela contivesse.

A partir da segunda guerra mundial, com as ocupações que sucederam nas cidades invadidas e a implantação de profissionais técnicos, engenheiros, arquitetos, etc., a cargo da organização, tanto sua urbanização, como as informações que surgiam da mesma, começa a aparecer a imagem de um cadastro que foge do modelo clássico historicamente mantido de econômico-geométrico-jurídico. Quer dizer, novos cadastros, com o decorrer dos anos foram surgindo devido à dinâmica percebidas nas cidades, denotando-se feições que identificam e distingue um lugar de outro, essas informações provenientes dos aspectos socioeconômicos, da informação meio ambiental que interage com a sociedade, como também das infraestruturas de desenvolvimento



que nutrem a um bairro urbano ou a uma parcela rural, como rede viária, rede elétrica, transporte, comunicação, etc.

Para Erba (2007) uma visão ampla multifinalitária do Cadastro se consolidou a partir da Agenda 21 aprovada em 1992 durante a Conferência das Nações Unidas sobre “Meio Ambiente e Desenvolvimento”, realizada na cidade de Rio de Janeiro, bem como o estabelecido na Resolução da Segunda Conferência das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos “HABITAT II” (Istambul) de 1996. Estes documentos aprovados pelas nações que integram, denotam a importância da informação territorial confiável como respaldo aos procedimentos de tomada de decisão, orientados a preservar o meio ambiente e a promover o desenvolvimento sustentável.

Um exemplo disso é a declaração da conferência do programa “HABITAT II”, que no “Plano de Ação Mundial: Estratégias para a Aplicação”, em referência aos processos de urbanização e uso sustentável da terra, diz:

[...] Para desenvolver e apoiar um Ordenamento Territorial melhorado e integrado, os governos aos níveis apropriados, incluídos as autoridades locais, devem:

- a) desenvolver sistemas integrados de informação territorial e de cartografia;
- b) estabelecer, segundo proceda, estruturas para a aplicação das leis e regramentos sobre ordenamentos territoriais com o fim de que dita aplicação e as apelações sejam mais eficazes e efetivas;
- c) desenvolver o mercado imobiliário mediante o estabelecimento de um marco jurídico eficaz que incorpore preocupações ambientais e abrange os diversos sistemas de domínio;
- d) desenvolver, com a participação de todas as partes interessadas, estratégias globais e ecologicamente corretas de uso da terra a nível local (HABITAT II, 1996, p.69) [...].

Observar-se que o cadastro está presente nesta passagem da declaração, a questão do ordenamento territorial em todas suas escalas de uma nação, prevendo a importância das ferramentas, como sistemas de informação territorial, cartografia, somado a isso o referente à legislação, marcos jurídicos, para compatibilizar o mercado com a necessidade, preservação ambiental e demanda social. Do mesmo modo,

que prevê a participação das instituições interessadas sobre o desenvolvimento do uso da terra.

Por outro lado, o termo “Multifinalitário”, que pode ser entendido como a variedade ou diversidade de objetivos ou fins, que contem um determinado sistema cadastral ou ação específica.

Nesse sentido, Blachut (1974) descreve o Cadastro Multifinalitário, significa simplesmente que a informação cadastral, e em particular os mapas cadastrais, devem ter a qualidade e o formato que as aplicações cadastrais requeiram, para ser utilizados pelos diferentes organismos ou usuários. Tendo como requisitos mais importantes para que exista a multifinalidade, os dados numéricos e os mapas devem estar baseados no sistema de controle que assegure a uniformidade e acurácia, tudo isto amarrado a um sistema de coordenadas. E o Mapa, como componentes básicos do sistema, deve conter as principais características naturais e artificiais do terreno, além dos limites da propriedade.

Para Dale e McLaughlin (1990) o Cadastro Multifinalitário pode ser definido como um sistema de informações territoriais de grande escala, orientado à comunidade, para servir tanto aos órgãos públicos como privados, além de servir ao maior número possível de cidadãos. Com características como: utilizar a parcela cadastral como a unidade fundamental da organização espacial; relacionar uma série de registros, como o domínio, o valor e uso do solo desta parcela; cobertura espacial completa; e proporciona um meio fácil e eficaz de acesso aos dados.

Segundo Loch (1993) para ser multifinalitário, o cadastro técnico deve ser fundamentado em um número expressivo de parâmetros que caracterizam a área, desta forma seus resultados terão múltiplas usos e finalidades. A atualização dos cadastros que conformam a multifinalidade por meio de monitoramentos do território permite a possibilidade de ter um reflexo da realidade ocupacional, dinâmica de produção, demandas de infraestrutura, enfim, permitem conhecer o território e os processos de antropização e evolução da sociedade.

O mesmo autor recomenda que o cadastro técnico multifinalitário deve ser a base para o planejamento político, econômico e físico-territorial das terras.

De igual forma Amorim, Souza e Yamashita (2008), consideram que os sistemas cadastrais, podem ter um caráter multidisciplinar, assumindo uma função mais abrangente, apresentando-se como um conjunto de informações organizadas para diversos departamentos e setores da administração municipal. Um sistema de gerenciamento de

informações que contemple o banco de dados cadastral, com múltiplas finalidades, possibilita a manipulação desses dados apresentando informações de maneira adequada aos usuários.

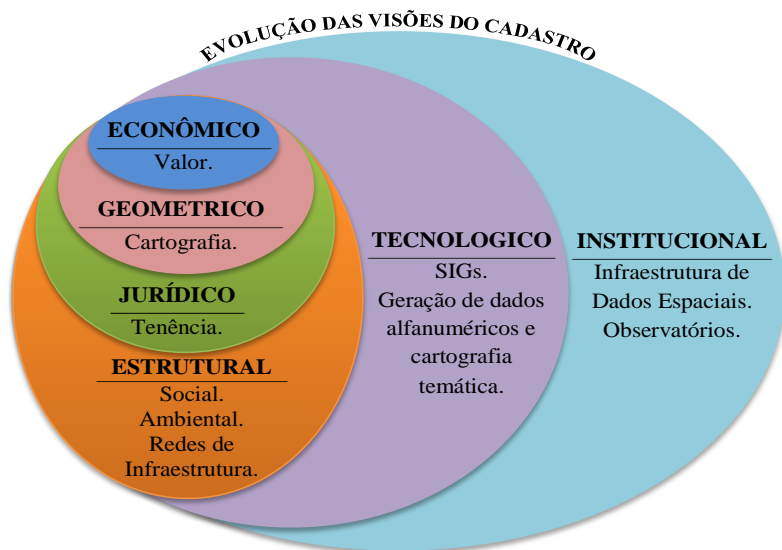
O cadastro moderno é um sistema de base de dados integrados, que contem informação sobre registros da terra e propriedades, características físicas, modelos econométricos de avaliação da propriedade, zoneamento, sistemas de informação geográfica, transportes, dados ambientais, socioeconômicos e demográficos. Estes cadastros representam uma ferramenta de planejamento integral podendo ser usado a nível local, regional e nacional para abordar questões como desenvolvimento econômico, de crescimento, erradicação da pobreza, políticas de terras e o desenvolvimento sustentável da comunidade (ERBA, 2004).

No Brasil, se lançou no ano 2009 por meio da portaria ministerial N°511, as Diretrizes para a Criação, Instituição e Atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios, na que se define ao CTM como, um inventário territorial oficial e sistemático do município, que deve cobrir a totalidade do seu território, para assim incluir as informações básicas para todos os cadastros temáticos. Além disso, é importante acrescentar que a unidade fundamental do CTM é a parcela cadastral, nos bancos de dados não há unidades menores do que ela (CUNHA; ERBA, 2010).

O cadastro, como conceito de um sistema de informação multifinalitário tem evoluído bastante nos últimos tempos, trazendo grandes avanços na qualidade dos sistemas de informação territorial. A forma de aplicar um cadastro multifinalitário seria ampliar a base de dados alfanumérica incluindo dados sociais e ambientais, somado aos dados físicos (localização e forma), aspectos econômicos e jurídicos da parcela, e todos eles, conectados a um mapa base cadastral em um sistema de informação geográfica (SIG). Além disso, falta um marco legal sobre o uso de solo e novos relacionamentos entre os setores públicos e privados da administração que permitam efetivar a implantação de um cadastro multifinalitário, como também, um código único de identificador de parcelas, definição de normas alfanuméricas e bases de dados cartográficas (ERBA, 2004). Para que as instituições se comuniquem no mesmo idioma ao compartilhar informações territoriais.

A evolução das visões do Cadastro (Figura 1), pode ser analisada começando-se pelos cadastros tradicionais, o econômico, o geométrico ou físico, e o jurídico. Estes cadastros levam em consideração o valor econômico do solo, as dimensões, geometrias das parcelas e o correto georreferenciamento a um sistema geodésico único, e o cadastro jurídico, que representa a posse ou direito à propriedade, devendo estar corretamente vinculada e atualizada ao cadastro geométrico por meio do registro de imóveis.

Figura 1 - Evolução das visões do Cadastro até a multifinalidade.



Fonte: Adaptação de ERBA (2011).

Existem também os cadastros estruturais do município, constituídos pelos Cadastros Geoambiental, Social e das Redes de Infraestrutura. Levam em consideração os dados surgidos do meio ambiente: água, solo, topografia, etc., além disso, a informações relacionadas às atividades do homem referente à parcela, como os dados de tipo socioeconômicos. Por último, um cadastro de grande importância no desenvolvimento das áreas urbanas é o cadastro de redes de serviço e vias de comunicação, fundamental para entender a dinâmica, movimentação da população e os vetores de crescimento.

O próximo passo para alcançar a multifinalidade é a Tecnológica (Figura 1), conformato pelas novas ferramentas de levantamento de

dados, Sistemas de Informação Geográfica, plataformas encarregadas da informação cadastral, que as administrações públicas e privadas utilizam para obter as informações desejadas.

O último passo, o Institucional (Figura 1), faz referência aos acordos entre instituições para compartilhar as informações, padronizá-las, utilizando um único código identificador de parcela e mesma base cartográfica. Cooperando nos observatórios e levantamentos das informações comuns para ambos organismos, economizando tempo e evitando a duplicação dos dados. Esta etapa tem como finalidade, a vinculação dos SIGs das diferentes administrações, condensando-o em uma Infraestrutura de Dados Espaciais. Assim que, o Cadastro Multifinalitário não é uma instituição pública, ou privada, senão um acordo de cultura do administrador com os administradores das outras instituições. Dessa maneira se forma a multifinalidade, um sistema de informação de múltiplos usuários, com múltiplas fontes e com múltiplos usos.

Para Cunha e Erba (2010) a integração de informações provenientes de variadas fontes e cadastros ao sistema básico comum do CTM é fundamental, ocorrido por meio da parcela como unidade de referência, na qual, identificada com um código único, é o elemento de ligação. Os dados que descrevem as parcelas devem ser essenciais para atingir os objetivos do cadastro, sua identificação e a seleção devem ser realizadas junto aos sócios que compõem o CTM.

Os diversos cadastros que constituem o registro público oficial e sistemático do Município, baseados no levantamento dos limites de cada parcela, formam as listas de bens imóveis das pessoas e sistemático pela característica de continuidade e, portanto, contigüidade entre as parcelas cadastrais (CUNHA; ERBA, 2010).

Em quanto aos benefícios que gera o cadastro multifinalitário, é difícil quantificar, dado que, muitos benefícios derivados do sistema de gestão e de informação da terra, são intangíveis por serem benefícios indiretos. Entre as principais vantagens, da implantação, encontra-se (WILLIAMSON, 1983):

1. Geralmente a introdução de um cadastro multifinalitário é acompanhada da introdução, aperfeiçoamento, ou expansão de um sistema para registro de títulos. Um requisito necessário para um cadastro moderno é que todas as parcelas em um estado ou jurisdição sejam incluídas no registro de títulos. Estes sistemas de títulos devem ser digitalizados, para alcançar um registro completo, o sistema de transmissão de

títulos seria mais barato e eficiente, até a mesma administração como aos usuários.

2. Sistema de levantamento cadastral melhorado. Outro grande requisito junto com o registro de títulos, no qual é necessário para a introdução a um cadastro multifinalitário é um sistema de levantamento cadastral coordenado. Implica um menor custo e maior eficiência ao realizar em forma conjunta com outras instituições ou prefeituras das regiões. Um requisito de qualquer sistema de levantamento cadastral é garantir uma definição inequívoca dos limites de cada parcela de terra.
3. Melhoramento no planejamento do uso do solo, gestão de terras e gestão ambiental. Consegue-se com a digitalização do sistema cadastral, atualizada e disponível para as decisões públicas.
4. Melhoramento da gestão das propriedades públicas.
5. Redução das duplicações de informação cadastral. Dois componentes básicos de um cadastro multifinalitário são os mapas a grande escala, e a base de dados de parcelas. Quando estejam completos, podem ser usados por outras organizações que confiam em seus dados, fazendo que o trabalho de uma instituição seja aproveitado por outras também. Outra vantagem em um sistema digital é o intercâmbio constante de informações, ou seja, a integração institucional.
6. Controle de transferência de terras. A transação de terras é algo que preocupa a todos os governos, por três razões: os impostos, taxação sobre a rentabilidade e estrangeirização das propriedades.
7. Melhoramento do controle sobre o desenvolvimento territorial. Um sistema cadastral verdadeiro deveria mostrar sobre o mapa a grande escala todas as estruturas sobre a terra. Significa que, qualquer representação das estruturas sobre um mapa de grande escala, deve ser parte dos requisitos da legislação nos processos de desenvolvimento controlado. Este controle é feito pelos governos locais, o cadastro multifinalitário poderia ajudar a relacionar e organizar o controle do crescimento.

## **2.1.5 Cadastros Setoriais**

Conforme Loch e Erba (2007), os distintos cadastros são gerenciados por diferentes setores da administração pública e empresas privadas, que integrados compõem o Cadastro Multifinalitário. Esta integração, compartilhando seus dados, gerados terá sucesso se as bases alfanuméricas e cartográficas padronizadas forem compatibilizadas para o uso de todas as instituições interessadas.

Existe uma gama de Cadastros que alimentam o Cadastro Multifinalitário, começando pelos três cadastros tradicionais, econômico, geométrico e jurídico, que compõem o denominado cadastro imobiliário. Na Figura 2 se ordenou os cadastros setoriais e seus subconjuntos em grupos de acordo a particularidade que aborda, a existência de mais cadastros dependerá das particularidades do município, estado ou país onde se pretenda implantar.

De acordo com Erba, Oliveira e Lima Junior (2005), no caso dos cadastros de redes de infraestrutura, normalmente exigem um mapa em escala mais detalhado do que os demais temas do cadastro técnico urbano, comumente elaborados nas escalas 1:1.000, enquanto os mapas com a estrutura fundiária, são na escala 1:2.000 e os mapas da rede viária, áreas verdes, etc., são executados na escala 1:10.000. A situação ideal seria que todos estes mapas estivessem numa escala 1:1.000, o que permitiria sua correlação e confrontação nos Sistemas de Informações Geográficas - SIGs.

Com relação à concessão dos serviços públicos às empresas privadas (privatização), Loch e Erba (2007) agregam que, essas companhias na maioria dos casos têm cadastros extremamente detalhados da infraestrutura da rede e dos clientes, e poderiam ser aproveitados pelas prefeituras no controle de dados e atualização através de convênios de cooperação. Nesse sentido, é fundamental que a precisão cartográfica de cada tipo de rede seja discutida e consensuadas no momento de estabelecer as parcerias.

Figura 2 - Cadastros Setoriais.

<b>CADASTROS SETORIAIS</b>	
<b>IMOBILIÁRIO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Econômico: Zonas Homogêneas, etc.</li> <li>- Geométrico: Fundiário, Benfeitorias.</li> <li>- Jurídico: Registro da parcela no Registro de Imóveis, etc.</li> </ul>
<b>GEOAMBIENTAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solos: Pedológico, etc.</li> <li>- Geologia</li> <li>- Vegetação: Florestal, Áreas Verdes, etc.</li> <li>- Hidrografia: Cursos de Água, Corpos de Água, canais de drenagem artificial, etc.</li> </ul>
<b>REDES DE INFRAESTRUTURA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rede Viária: Rodovias, Estradas, Logradouros, etc.</li> <li>- Redes de Serviços: Elétrica, Água, Telefonia, Internet, TV, Gás, Esgoto, etc.</li> </ul>
<b>SOCIO-ECONÔMICO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocupantes: numero de ocupantes, dados dos ocupantes, atividade que desenvolvem etc.</li> <li>- Benfeitorias: Serviços com que conta, estado dos prédios, etc.</li> </ul>
<b>USOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso Atual: Uso do Solo, Ocupação do Solo.</li> <li>- Uso Potencial.</li> </ul>
<b>EQUIPAMENTOS E ELEMENTOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipamentos Urbanos: placas, quiosques, telefones públicos, sinalização, estacionamento, paradas de ônibus, lugares turísticos, etc.</li> <li>- Equipamentos e serviços gerais: tipos e tamanho de comercio, serviços básicos como saúde, educação, instituições públicas e privadas de relevância social.</li> </ul>

Fonte: Adaptação de Loch e Erba (2007).



## 2.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

### 2.2.1 Introdução

A população urbana está crescendo cada vez mais nas cidades da América Latina, trazendo novos problemas e desafio que se devem afrontar no planejamento e gestão dos serviços públicos e das redes de infraestruturas. Estes desafios, primeiramente devem ser abordados pelos governos na gestão territorial, apresentando como fator comum, que grande parte destas alterações ocorre no espaço geográfico, pelo que se requer de ferramentas para poder capturar essas informações, processá-las, analisá-las e permitindo tomada de decisões, coerente e eficiente.

Nesse sentido, os Sistemas de Informação Geográfica são utilizados como ferramenta informática no manejo de dados espaciais desde finais de 1960, seu desenvolvimento se iniciou na América do Norte, logo se estendeu a Europa e Ásia, foi estimulado pela necessidade de mapear, planejar e administrar grandes áreas do território.

No começo existiam dois tipos diferentes de SIG: o primeiro, que estava mais vinculado aos cartógrafos e dirigido à automatização do processo de elaboração de mapas, buscando trocar o mapa de papel pela base de dados eletrônica, para melhorar a precisão geométrica e produzir cópias de mapas de maior qualidade. O segundo, com enfoque centrado na análise espacial, particularmente na superposição de diferentes mapas temáticos que foram relacionados entre si para contribuir à resolução dos conflitos do Uso de Solo (BURROUGH, 2001).

### 2.2.2 Definições de SIG

Existe uma importante quantidade de definições das funções básicas do SIG, quer dizer, entrada, saída, armazenamento e análise. Desde a perspectiva da análise espacial os três primeiros contribuem para dar suporte na análise, sendo um dos verdadeiros propósitos do sistema de informação (GOODCHILD, 1987).

O Sistema de informação Geográfica é uma tecnologia relativamente recente, seu desenvolvimento a sido influído por tendências comerciais, melhoras dos sistemas computacionais, aumento dos usuários, extensão a outras áreas de aplicação, etc. Na literatura

existem diversas e destacadas definições de SIG. Nesse sentido, Silva (2003) apresenta uma série de definições de destacados acadêmicos:

Burrough (1986): “um poderoso elenco de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real”.

Smith *et al.* (1987): “um sistema de base de dados no qual a maioria dos dados está indexados espacialmente, e sobre os quais um elenco de procedimentos é desencadeado com a finalidade de responder a perguntas sobre entidades espaciais”.

Cowen (1988): “um sistema que garante decisões envolvendo a integração de dados referenciados espacialmente em um ambiente específico”.

Aronoff (1989): “qualquer conjunto de procedimentos manual ou computacional usado para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados”.

Goodchild (1991): “é um banco de dados contendo uma discreta representação da realidade geográfica na forma estática de objetos geométricos, em duas dimensões, com seus atributos ou dados não espaciais associados, com uma funcionalidade grandemente limitada pelas operações geométricas primitivas para criar novos objetivos ou para simples interrogações e descrições sumárias”.

Para Burrough e McDonnell (1998) o Sistema de Informação Geográfica é um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real, para um objetivo específico. Enfatizando ferramentas do SIG como *hardwares*, *softwares*, bancos de dados e sistemas de gerenciadores de bancos de dados.

Rocha (2007) define o SIG como “um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, processamento, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos”. Onde a estrutura topológica dá a identidade ao sistema, diferenciando-o dos demais, pois, representa os relacionamentos entre suas entidades como

conectividade (conectado a, ligado a, relacionado com), contigüidade (adjacência, proximidade), e permanência (continência e interseção).

O SIG é aplicado ao tratamento computacional de dados geográficos e recuperação das informações com base em suas características alfanuméricas e através da localização espacial. Oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão mais ampla do ambiente de trabalho, com as informações sobre um determinado tema, numa única base de dados, localizadas geograficamente, por meio do georrefenciamento e representada numa projeção cartográfica. Da mesma maneira, o SIG servirá como ferramenta para a produção de mapas, suporte da análise espacial de fenômenos e banco de dados geográficos, armazenamento e recuperação de informação espacial (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2004).

Os mesmos autores agregam que, as principais características dos SIGs são de inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, além de oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

### **2.2.3 Função do SIG**

O SIG deve ser capaz de fornecer informações sobre os fenômenos geo-espaciais, sendo suas principais tarefas de Captura, Estruturação, Manipulação, Análises e Apresentação (ABDUL-RAHMAN; PILOUK, 2008):

1. Captura: a introdução de dados espaciais no sistema, tanto para dados geométricos como alfanuméricos existem muitas técnicas e dispositivos para consegui-lo. Estes dispositivos que recolhem os dados espaciais podem ser classificados como manuais, semiautomáticos ou automáticos.
2. Estruturação: etapa importante na criação da base de dados espaciais, porque se determina a gama de funções que pode utilizar-se para a manipulação e análises. Cada sistema tem sua capacidade de estruturação (topologia simples ou complexa, relativa ao objeto orientado).
3. Manipulação: destaca-se a generalização, que se aplica para suavizar dados espaciais incluindo linhas, filtro de pontos, etc.

e a transformação, que é a transformação de coordenadas a uma projeção cartográfica e escala específica.

4. Análises: é o núcleo do sistema de informação geográfica, por tratar-se de operações métricas e topológicas de dados geométricos e atributos. Tem como função gerar novas informações espaciais com os dados introduzidos, como ser, na análise do terreno (Inter visibilidade), cálculos geométricos (volume, área, etc.), superposição, zoneamento, etc.
5. Apresentação: etapa final, se apresentam as informações e os resultados gerados em forma de mapas, gráficos, tabelas, informes, etc.

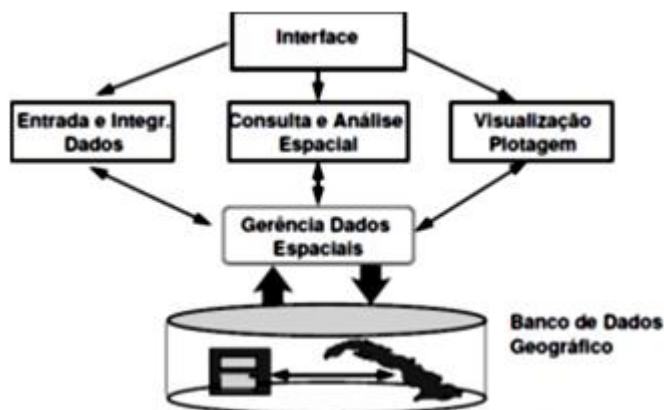
#### **2.2.4 Estrutura de dados no SIG**

Fazendo uma estruturação geral de um SIG, se podem diferenciar os seguintes componentes (CÂMARA; MEDEIROS, 1998):

1. Interface com usuário;
2. Entrada e integração de dados;
3. Funções de processamento gráfico e de imagens;
4. Visualização e plotagem;
5. Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

O relacionamento entre os diferentes componentes é de forma hierárquica conforme mostra a Figura 3. O nível mais próximo do usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado (CASANOVA *et al.*, 2005). No nível intermediário, o SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Figura 3 - Estrutura de sistemas de informação geográfica.

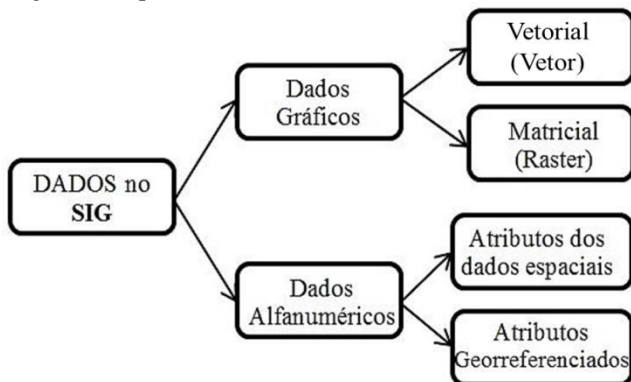


Fonte: Casanova *et al.*, (2005).

Para Rocha (2007), um sistema de informação geográfica difere dos demais sistemas, pela capacidade de estabelecer relações espaciais entre elementos gráficos, e por ser adequado para a análise espacial de dados geográficos. Nesse sentido, os dados utilizados no SIG podem separar-se em dois grandes grupos (Figura 4), os dados gráficos, espaciais ou geográficos, e os dados não gráficos, alfanuméricos ou descritivos:

- Dados Gráficos: descrevem as características geográficas da superfície (formas e posição).
- Dados Alfanuméricos: descrevem os atributos das características geográficas da superfície.
- Vetorial (Vetor): os mapas são abstrações gráficas (linhas, sombras e símbolos) que representam as localizações de objetos do mundo real.
- Matricial (Raster): formato de armazenamento interno, por meio de uma matriz de células associados a valores, permitem reconhecer os objetos sob a forma de imagem digital.
- Atributos dos dados espaciais: fornecem informações descritivas acerca das características de algum dado espacial.
- Atributos Georreferenciados: dado georreferenciado com alguma característica específica, sem descrever as suas feições espaciais.

Figura 4 - Tipo de Dados utilizados no SIG.



Fonte: O autor (2016).

## 2.2.5 Componentes de um SIG

Para Renuncio (1995), os SIGs estão compostos por *hardware* computacional, módulos de software aplicativos e um contexto organizacional adequado, além da informação proveniente dos levantamentos, ou seja, os dados geográficos.

O que respeita ao contexto organizacional, importante destacar a função dos recursos humanos encarregados das operações de *hardware* e software. Na atualidade as questões organizacionais são mais importantes que as técnicas no desenvolvimento e implementação de SIG (RENUNCIO,1995). Por sua parte, Arndt (2009) realça a importância do método, que se inicia no planejamento, que definitivamente serão os procedimentos, as normas e a estrutura do projeto.

Conforme Rufino (2006), o *software* é o conjunto de programas cuja finalidade básica é coletar, armazenar, processar e analisar dados geográficos, tirando partido do aumento da velocidade, facilidade de uso e segurança no manuseio destas informações, apontando para uma perspectiva multi, intra e interdisciplinar de sua utilização. Contemplando cinco módulos:

1. Coleta, Padronização, Entrada e Validação de Dados;
2. Armazenamento e Recuperação de Dados;
3. Transformação ou Processamento de Dados;
4. Análise e Geração de Informação;
5. Saída e Apresentação de Resultados.

O mesmo autor, define o *Hardware* como, o conjunto de equipamentos necessários para que o *software* possa desempenhar as funções descritas. Incluindo o computador e periféricos, como a impressora, o scanner, a mesa digitalizadora, unidades de armazenamento (unidades de disco flexível, disco rígido, unidades de disco extraível, etc.), como também a comunicação entre computadores, sendo realizada por meio de um ambiente de rede.

Em resumo, existem muitas composições feitas do SIG na extensa bibliografia, onde não apresentam grandes divergências entre elas, mas é importante ter em conta que os elementos intervêm no SIG são primeiros instancia é o *Hardware*, o *Software* e a Base de Dados, em segunda instância o Usuário e também o Mundo Real, ou seja, o Mundo Real será abstraído ou simplificado a formas de representatividade que o Usuário estipula, processado por meio das ferramentas de *Hardware* e *Software*, onde essa base de dados acabara dando resultados tais como relatórios, gráficos ou estatísticos.

### **2.2.6 Integração da informação via SIG**

Os dados são produzidos e coletados por diferentes entidades, em diferentes períodos, através de diversos processos, equipes e propósitos, por meio de mapeamento e recenseamento, que vão compor as bases de dados espaciais e alfanuméricas. De modo que, as bases de dados dos diversos mapeamentos estão constituídas pelas bases cartográficas e complementadas por múltiplos temas em escalas e unidades diferenciadas, que devem integrar-se ao SIG, através de unidades territoriais de integração de dados (ROCHA, 2007).

Os mais diversos dados, provenientes das mais variadas fontes e escalas, devem ser feita a através da utilização de uma estrutura de processamentos dos dados (raster ou vector) que comporte a escala adotada e permita a integração (ROCHA, 2007). Importante destacar a integração desses dados seja feito sobre bases cartográficas oficialmente validadas.

### **2.2.7 Aplicações do SIG**

As aplicações em SIG estão evoluindo, acompanhados dos dispositivos de coleta e as facilidades computacionais. Dependendo do objetivo da aplicação, o fenômeno geográfico pode ser analisado de forma e precisão diferentes. Conforme um mesmo conjunto de dados

armazenados, poderá ter tratamentos diferentes. Também cada aplicação demanda a manipulação de fenômenos geográficos distintos, associados a diferentes características e propriedades que variam no espaço e no tempo.

As aplicações podem classificar-se em três grupos (MAGUIRE; GOODCHILD; RHIND, 1993 *apud* CÂMARA, 1996):

1. Sócio-econômicas, envolvendo o uso da terra, seres humanos e a infraestrutura existente;
2. Ambientais, enfocando o meio ambiente e o uso de recursos naturais;
3. E de Gerenciamento, envolvendo a realização de estudos e projeções que determinam onde e como alocar recursos para remediar problemas ou garantir a preservação de determinadas características.

Conforme Câmara (1996), a utilização de certas escalas, fontes de dados e funções de análises, dependerá da classe de aplicações, quer dizer, as aplicações sócio-econômicas são geralmente voltadas para escalas grandes (1:2000 a 1:20.000), ocupando-se de problemas localizados. As ambientais, são em geral relacionadas a problemas de escalas menores (1:20.000 ou menores), com consequentes perda de precisão de medida. Apesar disso, nem sempre é aplicável tais apreciações, podendo estudos ambientais se ocupar-se de regiões de pequena extensão, exigindo escalas maiores; estudos sócio-econômicos podem abranger migrações populacionais, em escala global.

Segundo Arndt (2009), o uso de SIG mais difundido é o ordenamento e gestão do território, onde se tem a constituição de uma base cartográfica geoprocessada que servirá às demais aplicações setoriais onde reproduz a configuração do território do município. Tendo assim, a identificação de logradouros, lotes e glebas, edificações, redes de infraestrutura, propriedades rurais, estradas e acidentes geográficos. Dessa forma, a base torna-se útil para as atividades de planejamento urbano e ordenamento do uso do solo, inclusive para processo de revisão da legislação.

#### 2.2.7.1 Aplicação de SIG no Cadastro Técnico Multifinalitário

De acordo com Loch e Erba (2007) os Sistemas de Informação Geográfica são ferramentas auxiliares que permitem parametrizar



modelos de planejamento e visualizar os dados de forma gráfica (ou cartográfica), tornando-os de mais fácil compreensão em comparação com os tabulares ou de relatórios. Quando os SIG são utilizados para gerenciar dados cadastrais, geralmente recebem o nome de Sistemas de Informação Territorial (SIT), isto se deve à capacidade de tratar relações espaciais entre objetos geográficos (topologia).

No sistema de informação cadastral a estrutura fundamental para a coleta, armazenamento e recuperação da informação é a parcela cadastral, sendo esta a menor unidade do cadastro. Não obstante, estes sistemas possam conter informações ambientais, de infraestrutura, socioeconômicas e outras informações relacionadas à parcela.

Para Cunha e Erba (2010) um SIG deve permitir adquirir dados diversos, bem como a recuperação e análise dos mesmos para obter respostas simples e precisas, ou até mesmo análises mais complexas a fim de gerar novas informações. Os dados que compõem um SIG para fins cadastrais são:

- A carta cadastral gerada a partir da representação gráfica da parcela cadastral;
- Os dados descritivos alfanuméricos que acompanham essa representação proveniente das escrituras, dos censos e dos Boletins de Informações Cadastrais, etc.

O uso do SIG como recurso tecnológico, catalisador dos documentos cartográficos, que permite a integração, análise, atualização, visualização e impressão da cartografia de modo eficiente, resulta uma ampla possibilidade de aplicação no CTM. Permite a oportunidade de agregar a informação histórica da dinâmica do espaço, realizar simulações e avaliações espaciais, tomando por referência a modelagem do banco de dados alfanumérico e a temporalidade dos mapeamentos (CUNHA; ERBA, 2010).

Existem três componentes básicos de um SIG para cadastro: a “Parcela Cadastral”, como unidade básica para a organização da informação; o “Registro Cadastral” consiste em um ou mais componentes gráficos e alfanuméricos; e o “Identificador da parcela”, ou código de indexação que servem para inter-relacionar as informações, geralmente usam quatro identificadores no sistema para cada parcela, a Coordenada do Centróide do plano do estado, o número dos índices de avaliação, endereços de ruas, e o nome do proprietário.

Loch e Erba (2007) afirmam que cada registro do banco alfanumérico de um sistema cadastral se refere a uma parcela e contém,

pelo menos, um identificador a partir do qual se realizam as conexões com a cartografia digital estruturada em uma plataforma SIG.

Em relação à Cartografia cadastral, Erba, Oliveira e Lima Junior (2005) sustentam que, a mesma constitui a base sobre a qual se lançam os múltiplos dados que caracterizam os imóveis, com todas as variáveis já estudadas. Para que haja precisão e confiabilidade na integração da informação, é necessário trabalhar com um sistema de referência único, que deve ser definido de preferência na própria Lei de Cadastro.

Da mesma maneira, para Erba (2006), o cadastro territorial é a base para o relacionamento com todos os cadastros que compõem ou possam compor um sistema cadastral. Iniciando-se com a espacialização de todas as parcelas registradas no cadastro imobiliário; e com base nos seguintes materiais: plantas de quadras, boletins de cadastro (croquis), banco de dados, projetos de parcelamento do solo (loteamento, desmembramento e unificação) e plantas de situação de edificações.

## 2.3 MODELOS DINÂMICOS

### 2.3.1 Introdução

Segundo Almeida, Câmara e Monteiro (2007), as ações humanas promovem a ocupação do espaço, seja para agricultura, exploração de matérias-primas e outros recursos, como também para modificações de uso ou construção de estruturas para a vida em sociedade. O ser humano ao longo da evolução gerou diversas modificações nas características de seu ambiente. Neste sentido, o uso da terra é apontado como um indicador das modificações ambientais provocadas pelo homem e recebe influência de dois conjuntos de forças: as necessidades humanas e os processos e feições ambientais. Assim, os estudos do uso da terra e das mudanças nela observadas permitem estabelecer base mais apropriadas de desenvolvimento.

Para Novaes (1981), no Brasil um grande número de cidades média apresentam problemas sérios de crescimento, o que constitui um campo propício para análise sistemática através de modelagem, captando melhor as variáveis sócio-econômicas de nosso meio, podendo ser elementos muito úteis no estabelecimento de políticas adequadas para controle do uso do solo, oferta de infraestrutura, de serviços de transporte, etc.

Na atualidade, a tecnologia de Geoprocessamento ainda enfatiza a representação de fenômenos espaciais no computador e forma estática.

No entanto, um significativo conjunto de fenômenos espaciais, tais como escoamento de água da chuva, planejamento urbano e dispersão de sementes, etc., são inerentemente dinâmicos e as representações estáticas utilizadas em SIG não capturam de forma adequada. Deste modo, um dos grandes desafios da Ciência da Informação Espacial é o desenvolvimento de técnicas e abstrações que sejam capazes de representar adequadamente fenômenos dinâmicos (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2002).

Os modelos dinâmicos têm como característica principal, descrever a evolução de padrões espaciais de um sistema ao longo do tempo. De tal forma que, um “sistema” dinâmico pode representar uma superfície ou espaço vetorial e uma regra que determina como cada elemento movimenta-se neste espaço. Quando isso ocorre, e a regra é aplicada, se produz a mudança de estado ou dinamismo (SCARASSATTI, 2007).

Quando se avalia a modelagem, é necessário considerar a estruturaração teórica que se apoia a análise e sua posterior execução prática das medidas recomendadas. A conformação, distribuição e inter-relação a nível regional devem ser analisadas de forma teórica, para logo chegar a uma compressão coerente que conclui na modelagem da estrutura global ou de alguma de suas partes. Em princípio, uma “teoria” pode ser entendida como um conjunto de ideias, postulados, relações causais, etc., que formam um todo coerente, desenvolvido com o intuito de explicar um dos fatos ou fenômenos, estabelecendo leis gerais, relações sistemáticas e princípios gerais (NOVAES, 1981).

Por outro lado, um “modelo” pode ser aceito como a representação de um sistema, ou de um de seus componentes, dando-se através de várias linguagens: matemática, lógica, física, analógica, icônica, gráfica, etc., e segundo uma ou mais teorias. Entretanto, em relação à função dos modelos podem-se catalogar as seguintes tipologias (NOVAES, 1981):

- Modelo descritivo: seu objetivo é tão-somente entender a estrutura do sistema, constituem uma “vitrine” da realidade, sem que se possa atuar sobre ela.
- Modelo explorativo: é um modelo descritivo que envolve a análise paramétrica de diversos estados, através da variação dos elementos do sistema e de suas relações, sem que haja atuação externa sobre ele.

- Modelo preditivo: é um modelo explorativo que envolve a variável tempo, incluindo a projeção de alguns elementos básicos (população, renda, taxa de motorização, etc.).
- Modelo operacional: é um modelo que dispõe de relações sobre as quais o planejador possa introduzir fatores exógenos atuantes, de forma a modificar o comportamento do sistema.

A escolha dos elementos e relações relevantes do sistema real que serão representados no modelo está implícita na finalidade do mesmo, de modo que, um modelo não pode ser utilizado indiscriminadamente para qualquer finalidade.

Segundo Câmara e Monteiro (2003), o caso dos modelos de simulação de dinâmicas urbanas, cujas funcionalidades reportam-se, sobretudo, àquelas dos modelos preditivo e operacional, o objetivo é o de oferecer meios explícitos de exploração e visualização das consequências de estratégias alternativas para o desenvolvimento do ambiente urbano.

### **2.3.2 Modelos Dinâmicos em SIG**

O SIG, como tecnologia, tem a capacidade de ser estabelecido para armazenar, organizar, recuperar e modificar informações sobre a distribuição espacial de recursos naturais, dados geo-demográficos, redes de utilidade pública e outros tipos de dados localizados na superfície da terra. A modelagem de grande quantidade de processos físicos (ex.: dinâmica populacional) requer que os SIGs tenham capacidade de representar os tipos de processos dinâmicos encontrados em estudos de sistemas físicos e sócioeconômicos (MEIRELLES; CÂMARA; ALMEIDA, 2007).

O objetivo geral dos modelos dinâmicos em SIG é realizar a simulação numérica de processos do mundo real, dentro do qual o estado de uma localização na superfície terrestre muda em resposta a variações em suas forças direcionadoras (BURROUGH, 1998).

Na representação dos conceitos de modelos espaço-temporais as leis que governam a dinâmica dos processos, sejam estes físicos ou sociais, precisam ser expressas através de equações iterativas, que incorporadas ao ambiente de SIG, permitem a simulação de fenômenos espaço-temporais. Assim que, o desenvolvimento de técnicas de modelagem dinâmica tem tomado duas grandes direções (BURROUGH, 1998):

- Modelos de processos físicos, tipicamente associados a problemas hidrológicos ou ecológicos.
- Modelos de sistemas sócio-econômicos, que variam desde modelos de micro-escala baseados em autômatos celulares a modelos multi-escala que incorporam efeitos de variáveis exógenas.

O trabalho do SIG parte do mundo real, produzindo um modelo analógico fundamentado na base empírica, que através dela, são executados alguns procedimentos de modelagem cartográfica e análise espacial. Estes dados espaciais são obtidos e podem ser trabalhados juntamente às aplicações de modelos matemáticos. Os SIGs trabalhados em conjunto aos processamentos matemáticos permitem formular e analisar modelos de distribuição espacial relativos à localização de variáveis e à investigação e predição de dinâmicas espaço-temporais (SCARASSATTI, 2007).

Os conceitos básicos de análise geográfica se transformam em fundamentais ao realizar uma avaliação que encerre dados sociais, econômicos com Sistemas de Informações Geográficas, e destacam-se os seguintes (BUZAI; BAXENDALE, 2006 *apud* SCARASSATTI, 2007):

1. Localização: considera que todos os atributos entidades estudados têm uma determinada localização na superfície terrestre. A posição pode ser medida como espaço absoluto, que não varia com o tempo, e espaço relativo, constituídos por sistemas de medição que permitem a mudança de posição;
2. Distribuição: considera o conjunto de entidades estudadas junto a seus atributos e dividem-se de forma específica sobre a superfície terrestre. As distintas características medidas em entidades de natureza espacial geralmente não se distribuem homogeneamente.
3. Associação: considera o estudo do grau de semelhança diferença entre os distintos atributos das unidades espaciais e o comportamento de difusão dos diferentes atributos na relação de contiguidade; um coeficiente de correlação serve para medir qual é o nível de semelhança da distribuição das variáveis dentro das unidades espaciais da área em estudo.
4. Interação: considera as relações do espaço com as localizações, distâncias e fluxos horizontais como fundamentais. Ao se tentar medir a estrutura do espaço

geográfico, o conceito de acessibilidade, por exemplo, é importante, pois se realizam diversos cálculos da rede de circulação, que podem resultar um espaço dividido em mosaicos de áreas de influência, relações entre pontos de oferta e demanda na cobertura de serviços.

5. Evolução: incorpora a variável temporal e a permanente transição de um estado a outro. Em relação aos SIGs o conceito de evolução espacial pode ser considerado em dois aspectos: o estado das configurações sobre a cartografia apresentada com determinada resolução temporal (mapa xadrez) e o estudo da difusão espacial que tem representações cartográficas nas simulações temporalmente contínuas.

Para modelar processos dinâmicos em SIG com o nível necessário de realismo, as suposições preestabelecidas de homogeneidade, uniformidade e universalidade das propriedades dos principais componentes, que em teoria devem ser rígidas, vão sendo ajustável, de maneira tal, que o sistema seja capaz de representá-la (COUCLELIS 1997, *apud* MEIRELLES; CÂMARA; ALMEIDA, 2007):

1. O espaço como uma entidade não homogênea tanto nas suas propriedades quanto na sua estrutura.
2. As vizinhanças como relações não estacionárias.
3. As regras de transição, como regras não universais.
4. A variação do tempo como um processo regular ou irregular.
5. O sistema como um ambiente aberto a influências externas.

Figura 5- Requisitos para modelagem dinâmica em SIG.

Espaço	Estrutura	regular 	Irregular 
	Propriedades	uniforme 	não uniforme 
Vizinhança		estacionária 	não estacionária 
Função de Transição		universal $\delta$ 	não universal $\delta_1, \delta_2$ 
Tempo		regularidade 	Irregularidade 
Sistema		fechado 	aberto 

Fonte: Couclelis (1997), *apud* Meirelles, Câmara e Almeida, (2007).

A representação dos requisitos para modelagem dinâmica em SIG (Figura 5) está conformada pela estrutura e propriedade do “espaço”, com suas características. As “vizinhanças” que devem superar esta estacionaridade e ser representadas com diferentes configurações em diferentes pontos do espaço. No caso do “sistema” deve permitir que mais de uma função de transição pudesse ser aplicada, que o tempo seja representado em intervalos variáveis, e deve suportar a inclusão de variáveis externas (MEIRELLES; CÂMARA; ALMEIDA, 2007).

As características até aqui mencionadas são fundamental para instalar um sistema dinâmico espacial. Como também, o modelo dinâmico a ser utilizado para representar o fenômeno espacial e a abordagem computacional para implantar estes princípios de forma integrada e consistente.

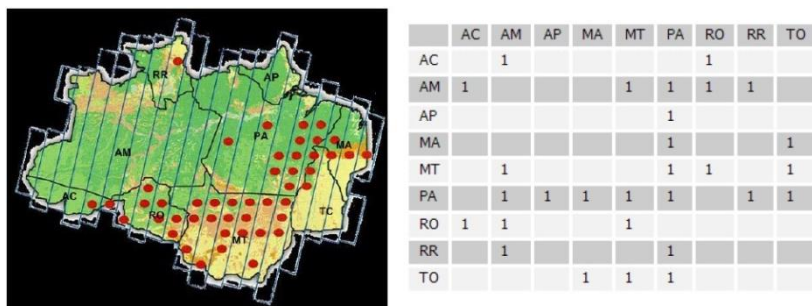
### 2.3.2.1 Espaço e Tempo

O “espaço” é um conceito chave, se pode fazer uma distinção entre os conceitos de espaço absoluto e espaço relativo. “Espaço absoluto”, também chamado Cartesiano ou Newtoniano, é um container de coisas e eventos, uma estrutura para localizar pontos, trajetórias e objetos. O “Espaço relativo”, ou “Leibnitziano”, é o espaço constituído

pelas relações espaciais entre coisas e eventos” (COUCLELIS, 1997 *apud* PEDROSA, 2003).

Um exemplo comum de medida realizada no espaço absoluto são os índices de autocorrelação espacial, um dos instrumentos básicos é a matriz de proximidade espacial, cujo cálculo usualmente é feito em função de distância euclidiana entre objetos ou da existência de uma fronteira entre eles. A representação de um mapa temático e sua respectiva matriz de proximidade (Figura 6), definida com base nas fronteiras existentes entre os objetos é um claro exemplo (PEDROSA, 2003).

Figura 6 - Mapa poligonal e sua matriz de proximidade.



Fonte: Pedrosa (2003).

A extensão dos conceitos de espaço absoluto e relativo deriva no que Conclelis em 1997 chamou de “espaço próximo”, que é importante na vizinhança associada à noção de proximidade, que conduzem ao conceito de proximidade funcional ou influência. Esta ideia de vizinhança é facilmente visualizada em representações matriciais do espaço, nas operações espaciais disponíveis em SIG como filtros espaciais, por exemplo, utilizam a noção de espaço próximo de forma limitada. No filtro espacial, o estado de uma célula (um pixel de uma imagem) é modificado com base nos estados das demais células em sua vizinhança, definido através de uma máscara (PEDROSA, 2003).

Em referência ao “tempo”, pode-se representar através de diferentes estruturas. Lopes (2002) acrescenta que o tempo abrange diferentes formas, que se reflete em interpretações diferentes de conceitos temporais, que são definidas com base principalmente, nos seguintes aspectos de representação temporal:

- Ordem no tempo: poderá ser “linearmente”, implica que uma ordenação total entre quaisquer dois pontos no tempo;

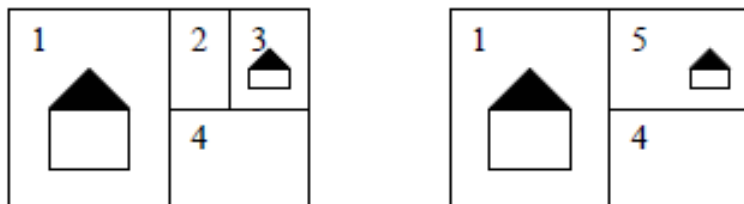


o tempo “ramificado”, no futuro ou no passado, permitindo a possibilidade de dois pontos diferentes serem sucessores imediatos de um mesmo ponto; o tempo “circular” é quando está associado a processos periódicos (ocorrência de ciclos), como por exemplo, uma semana, onde após sete dias, o mesmo volta a ocorrer.

- Dimensão de Tempo: principalmente existem duas dimensões, o tempo de “transação”, que é o tempo em que um fato é armazenado no banco de dados; e o tempo “válido”, que é o tempo em que um fato é verdadeiro na realidade modelada, correspondendo ao tempo em que o mesmo ocorreu no mundo real independentemente do registro deste evento em banco de dados.
- Variação Temporal: Considerando o tempo linear, a variação temporal pode ser de três tipos: “discreta”, onde os instantes são isomorfos aos números naturais, ou seja, cada instante possui um único sucessor; “densa”, onde os instantes são isomorfos aos números racionais, ou seja, entre quaisquer dois instantes de tempo sempre existe outro; e a “contínua”, onde os instantes são isomorfos aos números reais, isto é, ele é denso e diferente dos números racionais, pois não possui espaços e a cada número real corresponde um instante. A variação discreta é baseada em uma linha de tempo composta de uma sequência de instantes consecutivos que não podem ser decompostos e são de idêntica duração, denominados *chronons*.
- Representação Temporal Explícita e Implícita: A definição de tempo pode ser de forma “explícita”, através da associação de um tempo a uma informação (*timestamping*), e para representá-lo é necessária uma definição de um elemento temporal primitivo, como instante ou intervalo; ou de forma “implícita”, através da utilização de uma lógica temporal.
- Granularidade: A “granularidade” consiste na duração de um *chronon*. As granularidades mais utilizadas são as que fazem parte do sistema de calendário (segundo, minuto, hora, dia, mês, ano, etc.).

No caso da Figura 7, se observa uma representação de uma variação temporal “discreta”, na qual mostra a delimitação de lotes de um cadastro imobiliário em dois instantes  $t$  e  $t'$ , onde no instante  $t$  existem 4 lotes em uma área residencial, entretanto no instante  $t'$  os lotes 2 e 3 são unidos formando um novo lote 5. Portanto, não faz sentido dizer que a delimitação ocupou alguma posição intermediária entre  $t$  e  $t'$  (CÂMARA; MONTEIRO, 2003).

Figura 7 - Delimitação de lotes de um cadastro imobiliário em dois instantes  $t$  e  $t'$ .



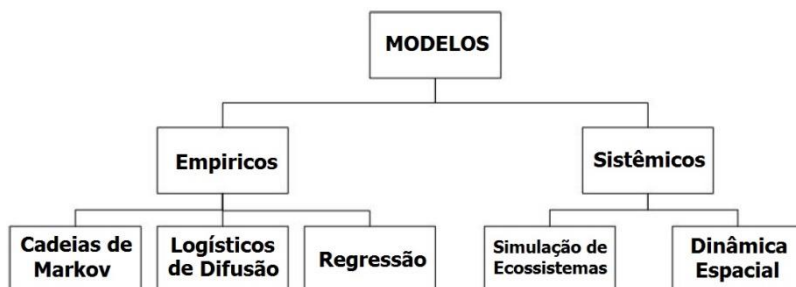
Fonte: Câmara e Monteiro (2003).

### 2.3.2.2 Modelos

O termo modelo apresenta pelo menos três usos diferentes: como nome, alude uma representação; como adjetivo, um ideal; e como ação, exibe um padrão. No entanto, o uso científico incorpora-se uma parte de cada um destes significados, na construção de modelos é gerada uma representação idealizada da realidade a fim de expressar algumas de suas propriedades (SCARASSATTI, 2007).

Os Modelos espaciais dinâmicos descrevem a evolução de padrões espaciais de um sistema ao longo do tempo. Um modelo responde a questões tais como “Porquê”, “Quando” e “Onde” (Quadro 1), com a capacidade de descrever quantitativamente um fenômeno e prever sua evolução, integrando suas escalas temporal e espacial. Ao se construir um modelo, dependendo do objetivo, pode-se dar ênfase a algum elemento mais do que outro, como as variáveis, os relacionamentos ou os processos. Pelo que se podem classificar como mostra a Figura 8 (MEIRELLES; CÂMARA; ALMEIDA, 2007):

Figura 8 - Tipos de Modelos.



Fonte: Meirelles, Câmara e Almeida (2007).

Conforme a Meirelles, Câmara e Almeida (2007), os modelos empíricos focalizam os relacionamentos entre as variáveis do modelo, a partir da suposição de que os relacionamentos observados no passado continuarão no futuro. Por outro lado, os modelos sistêmicos são descrições matemáticas de processos complexos que interagem entre si, procuram descrever o sistema como um todo, tentando representar as interações entre todos os seus componentes.

Pedrosa (2003) apresenta um resumo das características chaves de cada tipo de modelo, segundo o potencial de cada um deles:

Quadro 1 - Resumo dos tipos de modelos.

Modelo	Porquê	Quando	Onde
Cadeias de Markov	não pode explicar a razão de um fenómeno por ser processo estocástico e não suportar a inclusão de variáveis exógenas	pode prever a evolução de processos estacionários	pode prever distribuições espaciais de elementos do modelo se for combinado com GIS
Logístico de Difusão	permite a inclusão de poucas variáveis exógenas, entretanto é um modelo descritivo, não suportando investigações exploratórias	suporta a dimensão temporal, podendo prever a evolução de processos não estacionários	pode prever distribuições espaciais de elementos do modelo se for combinado com GIS
Regressão Linear	contribui para identificar forças direccionadoras, entretanto são modelos descritivos, não sendo capaz de estabelecer relações causais entre as variáveis	pode prever a evolução de processos estacionários	não são modelos espaciais, entretanto podem ser combinados com GIS
Simulação de Ecossistemas	modelo exploratório que requer descrições funcionais dos sistemas ecológicos	pode formular cenários de mudanças futuras no uso do solo, baseado nos parâmetros do modelo	apresenta dificuldades na representação espacial
Simulação Espacial Dinâmica	requer modelos funcionais espacialmente definidos	pode prever mudanças temporais no uso do solo, baseado nos parâmetros do modelo	pode prever evolução de padrões espaciais em processos determinísticos

Fonte: Pedrosa (2003).

O modelo de simulação espacial dinâmica baseia-se em modelos de ecossistemas, ou seja, são projetados para imitar o comportamento de um sistema, enfatizando as interações entre todos seus componentes com extensões para acomodar a heterogeneidade espacial e processos humanos de tomada de decisão. Uma maneira para desenvolver modelos de simulação dinâmica espacial é representar o espaço como uma matriz de células e aplicar as equações matemáticas a cada uma das células da matriz, simultaneamente. Assim, cada célula do modelo está conectada com suas células vizinhas, de tal forma que é possível estabelecer um fluxo entre células adjacentes (MEIRELLES; CÂMARA; ALMEIDA, 2007).

Por exemplo, na estrutura espacial urbana é abordada a partir de um nível microscópico, dividindo-se o espaço urbano em células que podem estar vazias ou ocupadas por distintos tipos de atividades, como comércio, indústrias, habitação, parques etc. Pelo que, a dinâmica das células é governada por regras de transição, fundamentadas em variáveis como, uso do solo, localização espacial, entre outras. Estas características incidem nos elementos dos autômatos celulares (SCARASSATTI, 2007).

### 2.3.2.3 Autômatos Celulares

O conceito de autômato celular surgiu por volta das décadas de 1920 e 1930, quando os matemáticos, Alan Turing e John von Newman perseguiam a ideia que as máquinas seriam auto-replicáveis, gerariam uma infinidade de padrões, que poderiam ser indefinidamente perpetuados (ALMEIDA; CÂMARA; MONTEIRO, 2007).

Os Autômatos Celulares (CA) foram estudados pela primeira vez por John Conway sob espaços artificiais, que eram em geral uniforme e indiferenciado. Seu interesse radica nas propriedades, às vezes, estável que surgiram depois de um grande número de intervalos de tempo, baseados em condições iniciais particulares (MAGUIRE; BATTY; GOODCHILD, 2005).

Conway foi o criador do Jogo da Vida (*Game of Life*) que seria um autômato celular, o simulador continha células com três objetivos: nenhuma colônia de células iria crescer para sempre, algumas colônias deveriam crescer aleatoriamente e o terceiro objetivo seria garantir que as colônias poderiam levar muito tempo para desaparecer ou estabilizar. O próximo estado de cada posição usado pela célula seria em função dos

estados anteriores de suas vizinhas e dela própria (SCARASSATTI, 2007).

O estado inicial de um autômato celular está intrinsecamente relacionado ao conteúdo inicial das células. Qualquer valor (normalmente entre zero e um) pode ser atribuído a cada célula, e a partir dessa regra é desencadeado o processo de evolução do autômato. Outro aspecto a ressaltar, é a imensa dependência de seus estados iniciais dos autômatos celulares, uma pequena modificação no estado inicial de um autômato celular pode provocar uma grande modificação em sua evolução. É interessante verificar que modelos muito simples para as células resultam em comportamentos globais muito complexos. (SCARASSATTI, 2007).

Stephen Wolfram, estudioso na matéria define aos autômatos celulares como:

Os autômatos celulares são idealizações matemáticas de sistemas físicos, no qual o espaço e o tempo são discretos, e as quantidades físicas adquirem um conjunto finito de valores também discretos. Um autômato celular consiste de uma grade regular uniforme (ou “campo matricial”), pelo geral infinito em sua extensão, com uma variável discreta em cada localidade (“célula”). O estado de um autômato celular é completamente especificado pelos valores das variáveis em cada célula. Um autômato celular evolui em passos de tempo discretos, com o valor da variável em uma célula sendo afetado pelos valores das variáveis nas células vizinhas encontrados no passo de tempo anterior. A vizinhança de uma célula é tipicamente formada pela própria célula em consideração e todas as demais células localizadas nas suas adjacências imediatas. As variáveis em cada célula são atualizadas simultaneamente (“sincronicamente”), baseando-se nos valores das variáveis da sua vizinhança no passo de tempo precedente, e de acordo com um conjunto predefinido de “regras locais” (WOLFRAM, 1983, p. 603).

Os autômatos celulares simulam processos de mudança ou crescimento baseados na premissa de vizinhanças estritamente locais, onde as transições ocorrem única e simplesmente em função do

acontecido na vizinhança imediata de uma dada célula. A dinâmica inerente aos autômatos e que produz fenômenos emergentes a nível global é inteiramente um produto de decisões locais, as quais desconsideram tudo o que se passa além da vizinhança reconhecidamente imediata (BATTY, 2000 *apud* CÂMARA; MONTEIRO, 2003).

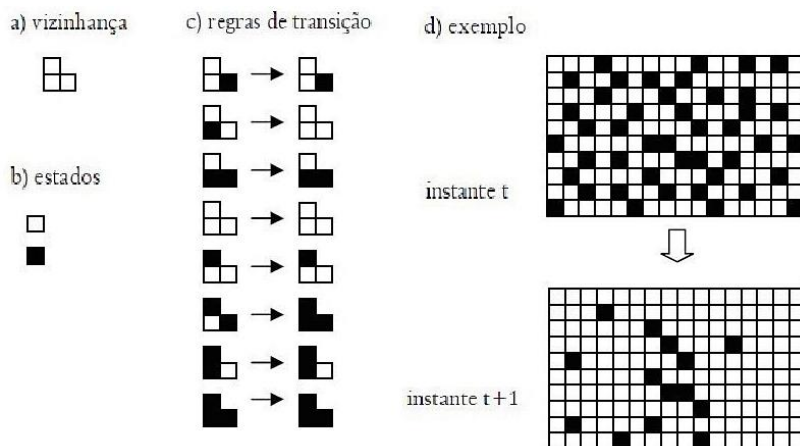
Wolfram em 1984 especificou cinco características fundamentais que definem os autômatos celulares (ITAMI, 1994):

- Estrutura discreta de locais;
- Evoluem em intervalos de tempo discretos;
- Cada local assume um conjunto finito de valores possíveis;
- O valor de cada local evolui de acordo com as mesmas regras determinísticas;
- As regras para a evolução de uma célula dependem das células vizinhas dele.

Um autômato celular pode adquirir diferentes formas e dimensões, a típica começa com uma estrutura de uma ou de duas dimensões de sítios ou células. No autômato celular unidimensional os locais são uma única linha de células idênticas. Em um autômato celular bidimensional os locais são compostos de uma matriz de células idênticas regularmente dispostas em linhas e colunas. Em qualquer caso, cada célula tem um valor único ou estado fora de um intervalo finito de valores. No caso mais simples o estado vai ser zero ou um (ITAMI, 1994).

O mecanismo de aplicação das regras de transição pode ser entendido tal como se mostra na Figura 9, a célula assume dois estados (branco e preto) e sua vizinhança é definida sobre duas células adjacentes. As regras de transição especificam o estado de uma célula num instante  $t+1$  é igual ao dos seus vizinhos no instante  $t$ , se estes vizinhos tiverem os estados iguais; caso contrário, o estado da célula permanece igual. Quer dizer que, a dinâmica de aplicação das regras de transição em um autômato celular é semelhante à de um filtro espacial. De modo que, todas as células são avaliadas, e quando for o caso, modificadas para um novo estado (MEIRELLES; CÂMARA; ALMEIDA, 2007).

Figura 9 - Exemplo de autômato celular.



Fonte: Câmara (1996, *apud* MEIRELLES; CÂMARA; ALMEIDA, 2007).

Segundo Almeida (2003) os modelos de autômatos celulares possuem aplicações nas mais diversas áreas, desde a física teórica e empírica até mudanças de uso e cobertura do solo, engenharia e controle de tráfego, disseminação de epidemias, biologia comportamental, etc.

A modelagem dinâmica dos processos urbanos teve sucessivos melhoramentos com o tempo. Os autômatos celulares utilizados para modelar o uso do solo, são implementados segundo critérios estritamente locais, significa que a dinâmica de aplicação das regras de transição baseia-se na vizinhança de uma célula. Algumas vezes nos processos urbanos, a função de transição deve levar em conta fatores como, os efeitos da vizinhança, a qualidade do solo (fator ambiental), as taxas demográficas da região (fator social), a demanda de uma determinada atividade econômica e o comportamento dos agentes econômicos (MEIRELLES; CÂMARA; ALMEIDA, 2007).

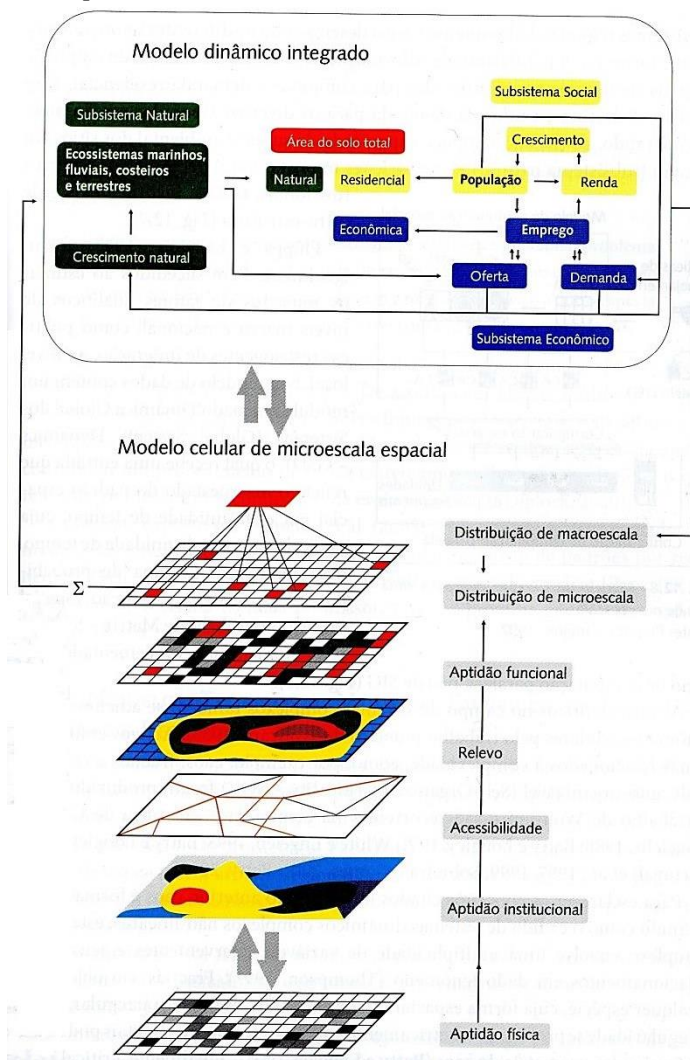
Os modelos de autômato celular integrando fatores analíticos de micro e macro-escala, no qual a demanda por área de uso residencial é estimada através de um subsistema social que considera fluxos migratórios inter-regionais, e onde a demanda por atividades econômicas (industrial, comercial, serviços) é obtida por meio de subsistemas regionalizados que avaliam o desempenho de diferentes setores econômicos, fornecendo paralelamente informações sobre oportunidades de emprego, as quais serão novamente utilizadas para

computar a demanda residencial (Figura 10). Esse modelo destina-se a estimar a demanda para diversos tipos de uso do solo, considerando ao mesmo tempo, a capacidade de suporte ambiental dos sítios em questão (subsistema natural), assim como, as restrições impostas em nível local por aspectos funcionais, físicos, institucionais e de infraestrutura (ALMEIDA, 2003).

Almeida, Câmara e Monteiro (2007) acrescentam que os modelos de Autômatos Celulares têm como vantagens consideráveis em sua implementação, a simplicidade operacional, a simulação de mudanças inesperadas de fenômenos emergentes, a articulação com dados matriciais para utilizar em SIG, a flexibilidade nos diversos processos dinâmicos do mundo real vinculados a teorias do campo de complexidade como caos, emergência, fractais, criticidade auto-organizável, entre outras teorias.



Figura 10 - Modelo de Autômato Celular que integra as micro e macro escalas espaciais.



Fonte: White *et al.*, (1997 *apud* ALMEIDA; CÂMARA; MONTEIRO, 2007).

## 2.4 CRESCIMENTO URBANO

O Crescimento Urbano é considerado como o aumento da área urbana de uma cidade, ou crescimento físico do sítio aonde a cidade vai se modificando. A identificação destas tendências de crescimento é um dos produtos mais importantes que os modelos fornecem. Índícios da direção mais evidente do crescimento urbano no passado e as tendências para o futuro de curto prazo são fundamentais para o planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo das cidades, procurando evitar ou reduzir a vulnerabilidade da população (BREUNIG; MELLO, 2010).

Conforme a Araújo (2012), a problemática que traz consigo o crescimento urbano, se pode ver refletida na estrutura social, na inequidade econômica e na funcionalidade da infraestrutura básica. Além disso, o crescimento das cidades está associado à verticalização, pois nesse caso, os problemas de infraestrutura são mais complexos ainda. Isto somado à migração interna a população que se desloca das zonas rurais para as áreas urbanas ano a ano, mais o crescimento populacional das cidades, tem como resultante no Brasil no ano 2010, as áreas urbanas continham mais do 84% da população total do país (IBGE, 2011).

Polidori e Krafta (2005) destacam que as cidades estão em permanente mudança e devem ser analisadas considerando esses processos de transformação ao longo de um determinado intervalo do tempo. Estas mudanças alteram conjuntamente a cidade e a paisagem, pois o processo de produção do espaço consome recursos, produz lugares novos e gera externalidades, provocando uma modificação na forma da cidade, assumindo determinadas feições em função do processo de crescimento.

Para Baeninger (2010), na segunda metade do século XX o Brasil experimentou uma das mais aceleradas transições urbanas da história mundial, transformando-se rapidamente de um país rural e agrícola em um país urbano e metropolitano, no qual grande parte da população passou a morar em cidades grandes. Atualmente, quase dois quintos da população total residem em uma cidade de pelo menos um milhão de habitantes. Essa mutação abrupta que enfrentou a população não se processou de forma harmoniosa, tendo sido particularmente difícil para os contingentes mais pobres que, apesar de representar a parcela majoritária do crescimento urbano e um motor essencial do desenvolvimento nacional, raramente tiveram seu lugar contemplado na expansão urbana.

De acordo com Polidori (2004), o processo de crescimento urbano é de difícil entendimento pela elevada quantidade de fatores presentes na cidade e na paisagem que integra, pelas suas interinfluências e diferentes escalas, pelo grande tamanho da cidade e pela ocorrência de mudança no curto e no longo prazo. O que dá maior valor à geração de modelos que reproduzam algumas das características da dinâmica urbana valendo-se de um número finitos de fatores para sua simulação.

No que respeita a evolução da estrutura urbana, Palma (2014) afirma que pode ser representada como um sistema que progride em passos discretos, cada estado alcançado depende das relações funcionais, da história e do processo de evolução anterior. Pelo que estrutura urbana é o resultado de uma série de relações espaciais e socioeconómicas que se complementam e que se manifestam fisicamente no espaço construído. Assim como as decisões de localização de atividades, também as inovações de uso interferem no crescimento e na densidade de ocupação, estruturando a organização e a complexidade do sistema urbano.

## **2.5 REDES DE INFRAESTRUTURA**

As redes de infraestrutura, como se descreveu anteriormente, são cadastradas e formam parte das informações cartográficas e alfanuméricas setoriais ou temáticos, que permitem descrever a realidade do território. Nesse sentido, é importante destacar o significado das redes viárias e de serviço básicos, e qual é o tamanho de sua influência na dinâmica territorial.

### **2.5.1 Rede Viária**

A rede viária é um elemento estruturador do território, estabelece o tamanho de quadras, delimita bairros e regiões, assim como é um indutor das mudanças das feições urbanas. Em relação a isso, Scarassatti (2007) afirma que, as principais funções do sistema viário, são de fornecer acesso e garantir a livre circulação de seus usuários. Da mesma forma agrega que, a existência de uma estreita ligação entre os grandes projetos urbanos, os padrões de uso do solo e o sistema viário e de transportes, já que as metas de garantia de mobilidade e acessibilidade a estes mesmos projetos estão totalmente ligadas à necessidade de se realizar uma previsão de capacidade da infraestrutura viária.

Conforme Loch e Erba (2007), a rede viária tem uma importância fundamental dentro da cidade, proporcionando o escoamento do tráfego e determinação da estética urbana. Além disso, é um dos fatores que mais pesam na avaliação do planejamento de uma cidade, uma vez que ele deve prever o aumento demográfico, de fluxo de carros e a facilidade de saída ou acesso a outras cidades, regiões, etc.

Ferreira (1992) relaciona o planejamento de transporte e o uso do solo com a estrutura viária urbana, descrevendo os dois tipos de estruturas principais de sistema viário, primeiramente o ortogonal, é o tabuleiro de xadrez ou grade, vista desde o plano. O segundo é a estrutura de radio-concêntrico caracterizado por vias que nascem de um mesmo ponto ligado a outras vias perimetrais ou periféricas. Às vezes se dá o casos da combinação de ambas estruturas viárias na mesma cidade, conformando uma morfologia urbana com planos justapostos.

A implantação de equipamentos públicos, sistema viário e acessibilidade à rede de transporte público possibilita prever as tendências de crescimento das áreas urbanas, ao mesmo tempo em que se percebem as alterações na paisagem (FERREIRA, 1992). De modo que estas tendências e alterações, que significam variáveis para o espaço físico, podem ser transformadas em dados, de grande importância, para o planejamento de redes viárias. Transformação que se materializa por meio das técnicas de sensoriamento remoto, que também servem de apoio no monitoramento das intervenções feitas.

Para Portugal e Goldner (2003), o processo de urbanização ocorrido ao longo dos tempos e o consequente adensamento de atividades, ocupação do solo e do uso dos meios de mobilidade veicular, tornam mais palpáveis as limitações e escassez do espaço nas cidades, o que potencializa, em decorrência, possíveis impactos de instalação de maior porte de infraestruturas disponíveis, particularmente a viária e a de transportes.

### 3 MATERIAIS E MÉTODO

#### 3.1 MATERIAIS

Para a elaboração desta pesquisa, em princípio, foram empregados os seguintes materiais para análise da evolução do território na área selecionada:

- a) Programas Informáticos (*Softwares*):
  - AutoCad Map 2014, visualização e seleção das bases cartográficas e dados vetoriais.
  - ArcGis 9.3, elaboração dos produtos cartográficos. Ligação dos dados provenientes do Cadastro Base e Cadastro Setorial. Tratamento de imagens obtidas mediante percepção remota, integração das representações de dados matriciais e com estrutura vectorial em um único ambiente.
  - IDRISI Selva 17.0, funções de modelagem de processos e simulação baseado em cadeia de Markov e autômatos celulares.
  - Microsoft Excel 2010, transformação de coordenadas de pontos, conformação de gráficos, etc.
  - Microsoft Word 2010, elaboração dos documentos de texto.
  - Microsoft Access 2010, ligação das diferentes tabelas e planilhas de formato Excel da base de dados cartográfica e alfanumérica dos cadastros temáticos envolvidos.
- b) Outros materiais:
  - Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGeo) de Joinville. Disponível em: <<http://simgeo.joinville.sc.gov.br/>>. Base Cadastral e outras informações foram disponibilizadas pelo convenio celebrado com a Prefeitura Municipal de Joinville e o Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (LabFSG) do departamento de Engenharia Civil - UFSC.
  - Ortofotos do Município de Joinville. Escala de Vão 1:10.000 / 1:5.000. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEPLAN) da Prefeitura Municipal de Joinville. 2010.

- Cartografia digital e informações históricas de Joinville em meio digital fornecida pela Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ).
- Cartografia digital das redes de infraestrutura fornecidas pela Prefeitura Municipal de Joinville, Núcleo de Geoprocessamento (SAP).
- Cartografia digital Georreferenciados (SIRGAS2000) da Rede de Água Potável e dos Hidrômetros, assim como, os registros de consumo do município de Joinville, fornecido pela Companhia de Saneamento Básico Águas de Joinville.
- Dados dos setores censitários do IBGE (2010), fornecidos pelo IPPUJ.
- Equipamentos informáticos (PC) e materiais do laboratório LabFSG da UFSC.

### 3.2 MÉTODO

A pesquisa foi desenvolvida no bairro Vila Nova, município de Joinville/SC, tendo como enfoque de estudo a evolução do território por meio dos cadastros setoriais influenciados pelo crescimento urbano e as intervenções do poder público.

A proposta inicial desta pesquisa surgiu da observação das redes viárias federais, estaduais e municipais que apresentam características de indutor do desenvolvimento da área que atendem, gerando uma série de mudanças na configuração da paisagem nas proximidades da via, tudo isto, influenciado pelo crescimento urbano.

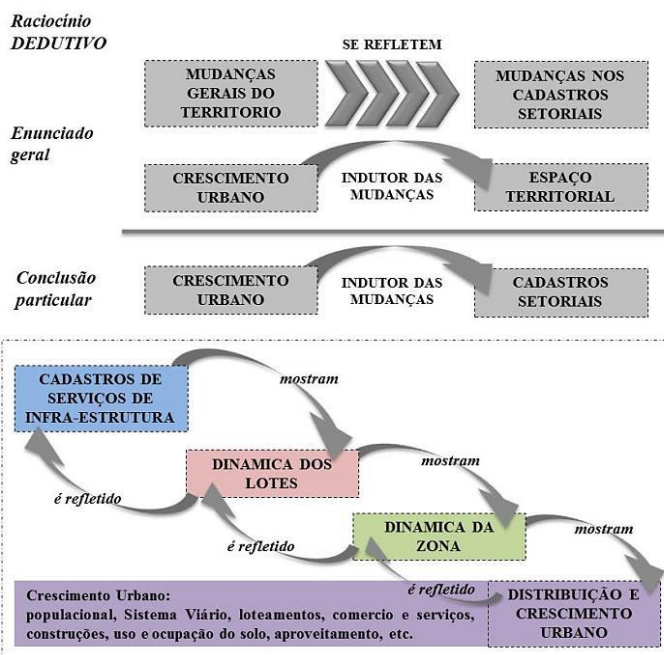
A antropização que se produz como consequência da intervenção do poder público, com a legislação, rede de infraestrutura, etc., somada à pressão do crescimento urbano, apresenta uma dinâmica espaço-temporal que se pretende caracterizar com esta pesquisa, avaliando para isso, a evolução dos cadastros setoriais, que também sofrem como consequência da dinâmica do território, reagindo nas áreas mais demandadas.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a evolução do Cadastro da Rede de Infraestrutura, de forma quantitativa e espacial dentro da área de estudo, fazendo uma leitura abrangente do bairro, vinculando essas mudanças com fatores próprios do território, como sistema viário, polos concentradores de atividades econômicas, sociais,

culturais, etc., e também a legislação envolvida que movimenta as transformações urbanas, somado à pressão do mercado imobiliária.

A principal linha metodológica científica desta pesquisa pode ser classificada como “Dedutiva” (Figura 11), ou seja, noutros termos, o raciocínio dedutivo parte de enunciados gerais dispostos em ordem, como premissas de um raciocínio para se chegar a uma conclusão particular. No entanto, a conclusão não pode ter extensão maior que as premissas (MEDEIROS, 2007).

Figura 11 - Argumentação do método Dedutivo adotado para a pesquisa.



Fonte: O autor (2016).

Marconi e Lakatos (2010) afirmam que o argumento do Método Dedutivo tem por finalidade explicar o conteúdo das premissas, o que significa que analisando o argumento dedutivo ele poderá estar correto ou não, isto é, as premissas sustentam de modo completo a conclusão ou não sustentam de forma alguma. Assim, o argumento dedutivo sacrifica a ampliação do conteúdo para atingir a “certeza”.

### 3.2.1 Introdução

O método empregado envolve a análise da dinâmica espacial urbana e o relacionamento direto com o crescimento das redes viárias, da infraestrutura e as demandas dos serviços básicos, ocorridas com os diferentes usos de solo envolvidos. Para tal fim, os procedimentos empregados levaram em consideração análises multitemporais das mudanças nas demandas de usos no serviço básico, conforme com os cenários de crescimento urbano e sistema viário em expansão no bairro.

O trabalho se desenvolveu em diferentes etapas (Figura 12), para os quais se aplicaram diversos algoritmos, considerações, critérios e ajustes, na obtenção dos mapas que prognosticaram as mudanças futuras no território. Mudanças que serão analisadas de forma gráfica por meio das imagens raster, como também numericamente, com a quantificação dos resultados avaliados das imagens e inseridos em tabelas, gráficos de curvas, barras, etc. As diferentes etapas executadas tiveram como objetivo alcançar resultados que contrastem as mudanças de usos do serviço básico nos períodos de tempo analisados e dos cenários futuros.

A etapa inicial foi a aquisição, classificação e processamento de dados. Nesta fase analisaram-se os dados de entrada do modelo, informações que são provenientes do sensoriamento remoto, cartografia da base cadastral do município analisado e cartografia temática. Além disso, foram utilizados também dados estatísticos e censitários de caracterização dos elementos de estudo. A partir disso, os dados foram devidamente processados para inserção em um banco de dados geográfico (ArcGIS 9.3).

O passo seguinte tem duas componentes essenciais que alimentaram o modelo dinâmico, um deles é representado pelos “Mapas de Usos” chamados assim por serem elaborados a partir dos dados do abastecimento do Serviço Básico de Água Potável nos lotes da área de estudo, os quais foram discretizados em intervalos de classes para mostrar os volumes de consumo. O outro grupo de representações são os “Mapas de Variáveis” que estão compostos por vários mapas de fatores, que constituem os indutores de mudanças da dinâmica urbana ou também conhecidas como variáveis explicativas das transições do uso. Ainda, tem-se os “Mapas de Variáveis” referentes às que representam as áreas dentro bairro estudado que são excluídas das análises do modelo de prognóstico.

Após da criação dos “mapas de variáveis”, os fatores e restrições foram submetidos à “Avaliação Multicritério” que culminaram com uma



coleção de imagens que representam as probabilidades de transição de cada uma das Classes ou Categorias de consumo de água dos Lotes (Usos).

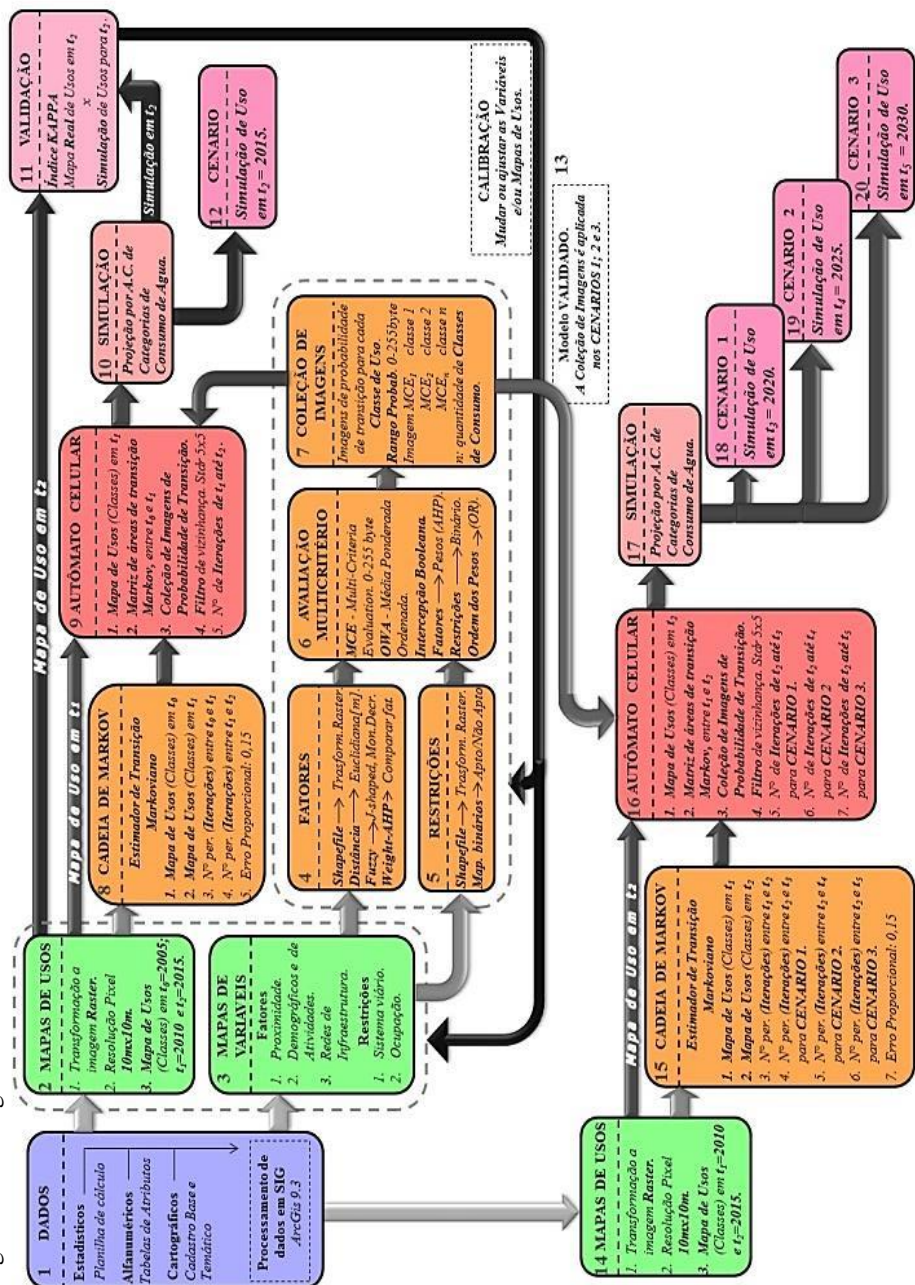
Na abordagem da etapa de modelagem de “Cadeia de Markov” e do “Autômato Celular”, utilizaram-se os “Mapas de Usos” dos períodos  $t_0$  e  $t_1$ , para produzir a matriz de área de transição, necessária para a execução do módulo de Autômato Celular da simulação do Mapa de Usos no período  $t_2$ . O processo de Autômato Celular (IDRISI Selva 17.0), além da matriz de áreas de transição de Markov, também se nutre de outros dados como a Coleção de Imagens criada pela Avaliação Multicritério e o Mapa de Usos no período de tempo  $t_1$ , entre outros elementos.

Logo após a aplicação do módulo de Autômato Celular e realizada a simulação da projeção de Categorias de Consumo de Água para o período  $t_2$ , o mesmo é comparado com a imagem raster real das Categorias de Consumo de Água (“Mapa de Usos”) para o mesmo período  $t_2$ , ou seja, comparação por meio do avaliador Kappa do mapa real *versus* Simulação.

A fim de validar o modelo de projeção, os coeficientes Kappa determinaram sua legitimidade, o que significa que a “Coleção de imagens de Probabilidade de transição” poderá ser utilizada na simulação dos cenários  $t_3$  (2020),  $t_4$  (2025) e  $t_5$  (2030) com razoável consistência dos resultados. No caso negativo, em que a validação do modelo projetado diverja demais do modelo real, nova alteração será feita ou serão ajustados tanto os Mapas de Usos e Mapas de Variáveis, como também operador de Markov e de Avaliação Multicritério, até conseguir a validação do modelo. Convertendo-se num processo iterativo de ajustes das múltiplas variáveis que compõem a simulação da real evolução da dinâmica territorial.

Um resumo das etapas apresentadas até o momento é apresentado na Figura 12, constituída de um “fluxograma sintético do Método” adotado na pesquisa, e a continuação é desenvolvida a teoria que fundamenta cada processo seguido no modelo dinâmico.

Figura 12 - Fluxograma sintético do Método adotado.



Fonte: O autor (2016).

### 3.2.2 Aquisição e processamento de dados

O núcleo central desta pesquisa é a informação compilada do entorno espacial da área de estudo escolhida. Em relação às informações coletadas, a aquisição e preparação das mesmas, é certamente uma das etapas mais importantes, principalmente quando se utilizam Sistemas de Informação Geográfica para abordar as análises e leituras das dinâmicas urbanas, pois os dados, além de sua qualidade, estão associados a um espaço referencial que representam, tempo e espaço.

Os dados da pesquisa foram coletados e agrupados, grande parte deles em formato digital, que derivaram das instituições públicas e privadas consultadas, na qual brindaram a informação necessária. A fim de permitir a análise estruturada de todas as informações envolvidas e o melhor manejo do grande volume de dados, os mesmos foram sistematizados no programa Microsoft Excel, Access e adicionados os atributos ao *software* ArcGIS 9.3.

A sistematização e classificação dos dados iniciou pelas informações provenientes da prefeitura de Joinville, do Núcleo de Geoprocessamento - GEO, da Secretaria de Administração e Planejamento - SAP e do Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville - IPPUJ, onde foi possível obter a Planta Cadastral atualizada em formato digital do bairro em estudo. Este mapa base foi acompanhado dos mapas temáticos solicitados que refletem as características particulares, e possíveis fatores de mudanças do bairro.

Os dados dos cadastros temáticos ou setoriais foram cedidos pela Companhia de saneamento básico “Águas de Joinville”, que é fornecedora do Serviço da Água Potável do município de Joinville. As informações disponibilizadas por esta instituição estão vinculadas aos consumos mensais de cada hidrômetro dentro do bairro, no período de tempo requerido, com sua distribuição espacial, também os mapas da rede de distribuição de água em toda a área de estudo. Além disso, foram adquiridos dados estatísticos dos vazamentos, furtos e outras informações vinculadas à qualidade do serviço.

De igual modo foram coletados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, relacionados com a população, densidade demográfica, taxas de crescimento, etc., como também mapas geral de Joinville e de Santa Catarina.

Finalizada a coleta dos dados, fornecidos pelas instituições mencionadas, procedeu-se ao processamento das informações a fim de preparar os mapas de entrada para a etapa de modelagem.

A base cadastral estava em formato *shapefile*, na qual seus atributos têm um “Código Identificador” ou como foi chamado pela prefeitura de Joinville de “Inscrição Imobiliária” (iq). Esse é o código que identifica cada registro da tabela, ou seja, cada lote pesquisado tem um único “iq”. Este item tem grande importância na etapa de junção dos dados espaciais com os dados alfanuméricos (coletados da Companhia de Águas de Joinville, ou simplesmente informação correspondente a esse lote em particular), pois o *iq* serve como chave de ligação dos dados no SIG.

É importante salientar que o procedimento de utilização de um Código Identificador como chave de ligação dos dados espaciais e alfanuméricos é aplicável a qualquer outro tipo de mapa temático, e é de fácil compreensão, pois toda a informação deve estar referenciada a um ponto, linha ou área no espaço.

Do mesmo modo, os dados da companhia Águas de Joinville foram processados. Estas informações contêm registros de consumo de água de cada proprietário dos hidrômetros instaladas no bairro, e são armazenadas em tabelas, contendo dados do consumo mensal desde o ano 2005 até 2015.

Os dados de consumos estão classificados em “Volume Real” que é o valor da leitura realizada pelo funcionário da companhia, e em “Volume Faturado”, que é o que o consumidor paga pelo serviço mensal. Para a análise dinâmica foi utilizado o “Volume Faturado”, pois nessa etapa são eliminados os possíveis erros de leitura e instrumentação, e também algumas possíveis perdas assumidas pela companhia.

Estes dados de consumo estavam acompanhados de informações como “Matrícula do Proprietário” e “Número de Hidrômetro”, que representam os registros do proprietário na companhia e a placa de identificação dos hidrômetros respectivamente. Outras informações também disponibilizadas foram a “Ligação da Água” e a “Data da Ligação”, que é utilizada para saber se a ligação está ativa, cancelada, cortado o cavalete ou suprimida.

Por último, o dado mais importante, que já foi mencionado anteriormente, é a “Inscrição imobiliária”, cujo código permite referenciar os dados e refere-se à companhia fornecedora do serviço de Água e aos lotes aos quais correspondem esses hidrômetros. Quer dizer

que um lote pode conter mais de um Hidrômetro ou também pode acontecer que no lote existem mais “Unidades Residenciais” que Hidrômetros. Isto se explica já que nem todas as residências têm um Hidrômetro próprio, que é o que ocorre nos casos da maioria dos condomínios.

Após a caracterização dos dados do cadastro setorial em diferentes tabelas em formato Excel, como também a tabela de atributos do mapa Cadastral Base, procedeu-se à junção das mesmas, com a ajuda do *software* Microsoft Access. Utilizando o código de Inscrição Imobiliária como fator comum de referência, as tabelas foram processadas, dando como resultado um arquivo único, no qual podem-se observar todas as médias anuais dos consumos mensais ano-a-ano, de cada um dos usuários do serviço com seus respectivos Códigos Identificadores dos lotes.

Por último, o arquivo gerado no Access, foi levado ao *software* ArcGIS, fazendo a junção na Planta Cadastral 2015. Esta função faz a união dos dados através da definição de uma coluna comum na tabela de atributo do shapefile e na tabela de dados alfanuméricos, dando como resultado, um arquivo vetorial, que abrange todos os dados de consumo de todos os anos associados aos respectivos polígonos espaciais do lote.

Importante destacar que a utilização do *Software* Access foi vital para a manipulação dos dados alfanuméricos, devido ao fato de que o bairro analisado conta com mais de 7800 lotes, sendo o volume das informações muito grande para que fosse possível avaliar individualmente, necessitando-se de uma ferramenta que abordasse o trabalho de forma sistemática e conjunta. Como consequência, a quantidade de dados espaciais (lotes) deve coincidir com a quantidade de registros (dados alfanuméricos de Consumo do Serviço) da planilha unida.

Dando continuação a o mapeamento temático que resulta da junção dos dados de Consumo de Água e a Base Cadastral foram definidas dez classes de consumos do serviço de Água, e mais outras três classes referentes às áreas restringidas ou não aptas para serem consideradas com consumo. Esta classificação em dez tipos de consumos foi o resultado de considerar a imensa variabilidade e heterogeneidade dos consumos no bairro de categoria Residencial, onde a distribuição da Média Anual do Consumo mensal faturado da seguinte forma:

- Classe 1- Sem Consumo:  $0,0 \text{ m}^3$ .
- Classe 2- Uso da Água de  $0,001 \text{ m}^3$  a  $5 \text{ m}^3$ .

- Classe 3- Uso da Água de  $5,001\text{m}^3$  a  $10\text{m}^3$ .
- Classe 4- Uso da Água de  $10,001\text{m}^3$  a  $15\text{m}^3$  (Até  $15\text{m}^3$  se pode considerar Consumo Residencial Unifamiliar).
- Classe 5- Uso da Água de  $15,001\text{m}^3$  a  $20\text{m}^3$ .
- Classe 6- Uso da Água de  $20,001\text{m}^3$  a  $25\text{m}^3$ .
- Classe 7- Uso da Água de  $25,001\text{m}^3$  a  $50\text{m}^3$ .
- Classe 8- Uso da Água de  $50,001\text{m}^3$  a  $100\text{m}^3$ .
- Classe 9- Uso da Água de  $100,001\text{m}^3$  a  $500\text{m}^3$ .
- Classe 10- Uso da Água de mais de  $500\text{m}^3$  (o caso de lote com grandes condomínios residenciais).

Foi imprescindível fazer uma generalização destas classes, já que, quanto maior o número de classes usadas, maior a complexidade do modelo. No caso da classe 10, a diversidade de valores que compõem este grupo está identificada com os consumos de grandes condomínios ou lotes não desmembrados ainda, com uma alta taxa de residências, estes valores são considerados excepcionais dentro do conjunto de consumos que demandam os lotes.

Em síntese, esta etapa tem como finalidade gerar os arquivos vetoriais que contem as informações do “Uso d’Água” ou média anual do consumo mensal de cada lote em formato vetorial para os anos 2005 a 2015. Os intervalos de classes foram agrupados por segmentos de consumo, e foram necessários para a análise dinâmica posterior. De igual modo, foram mapeados os dados referentes às variáveis que explicam a dinâmica das ocorrências das mudanças do “Uso d’Água”.

### **3.2.3 Variáveis decisivas das mudanças**

A complexidade na elaboração de qualquer modelo de prognóstico ou projeção de uma área urbana requer o conhecimento prévio do grau de influência que os diversos fatores representam e que estão associados às demandas e relacionamentos sociais com o ambiente (VERBURG *et al.*, 2004). A análise do grau de influência desses fatores na dinâmica de crescimento urbano pode ser feita por distintas ferramentas.

A elaboração de um modelo espacial de predição de mudanças exige a escolha de variáveis adequadas (VELDKAMP; LAMBIN, 2001). Esta seleção de variáveis ou critérios está relacionada à incidência que estas têm na criação das transformações do fenômeno a

analisar e, neste caso, está relacionada com o cadastro setorial do Serviço de Água Potável. Estas variáveis têm influências diretas ou indiretas com o aumento ou diminuição do consumo da Água nos períodos de tempos analisados.

As principais causas ou incidências nas demandas do Serviço de Água potável estão relacionadas com o ser humano e as atividades que ele desenvolve. Atividades comerciais, residenciais, serviços, institucionais, indústrias (em menor medida), dentro do bairro, e mais exatamente nos lotes urbanos devem ser consideradas.

A disponibilidade das redes de infraestrutura básica, como abastecimento de água e esgoto, redes de energia elétrica e telefônica, são um dos fatores facilitadores para o crescimento da malha urbana existente para novas áreas adjacentes, como também a proximidade a equipamentos públicos constituem fortes vetores motivadores do crescimento (ROSSETTI, 2011).

Para Sampaio (2014), as variáveis originadas das intervenções antrópicas têm maior poder de influência sobre as mudanças, neste caso de uso de solo, são a distâncias da mancha urbana, densidade populacional, número de ligações das redes de infraestruturas básica. E ainda demais fatores como, áreas de maior adensamento permitido, distâncias de estradas existentes e centros urbanos e comerciais já consolidados.

Da mesma forma, Scarassatti (2007), identifica a acessibilidade ao sistema viário de um bairro como um fator para ser considerado na análise de variáveis, assim como os polos geradores de tráfego, que por meio da exploração de alguma atividade econômica, social, cultural, etc., pública ou privada, geram ou atraem um grande número de viagens. Estas considerações causam a médio e longo prazo alterações nos padrões de uso do solo. A infraestrutura viária guarda correlação direta na compreensão do processo de transformação das cidades (SCARASSATTI, 2007).

De acordo com Eastman (2012), os critérios são a base para uma decisão que pode medir-se e avaliar-se. Ou seja, um critério é a evidência sobre qual se pode assinalar um indivíduo (escala de usos) a um grupo de decisões, pelo que os critérios podem ser de dois tipos: Fatores e Restrições, e podem estar relacionados com os atributos do indivíduo ou com um grupo de decisões.

Os fatores são critérios que melhoram ou pioram a capacidade de uma alternativa específica para cada atividade em consideração. De modo que, se mede comumente em uma escala contínua. Enquanto que

as restrições servem para limitar as alternativas em consideração (EASTMAN, 2012). Isto significa que, um fator realça ou ameniza a aptidão de uma alternativa específica para um propósito determinado e uma restrição constitui um limite rígido para as alternativas em consideração (WEBER *et al.*, 1998).

No processo da seleção dos fatores e restrições (Variáveis), existem dados espaciais que apresentam relação direta ou indireta com a expansão da demanda do consumo de Água. Os dados espaciais foram organizados e compilados em um banco de dados, utilizando o *software* ArcGIS, ou seja, para cada uma das variáveis um mapa foi produzido em SIG indicando sua distribuição sobre o espaço geográfico na área de estudo. Para logo ser empregado na próxima etapa do processo no *software* Idrisi.

As variáveis selecionadas estão conformadas em três grupos de fatores e dois grupos de restrições:

- a) Fatores de proximidade do sistema viário urbano e de transporte. A influência das distâncias às rodovias, ruas principais, secundárias e sistema de transporte do bairro.
- b) Fatores demográficos, ligados à concentração de pessoas por causas da moradia, ou das atividades sociais, comerciais, culturais, etc.
- c) Fatores de redes de Infraestrutura, vinculados ao fornecimento do Serviço da água potável. Como é distribuição espacial da Rede de água, da mesma maneira que a distribuição dos hidrômetros instalados.
- d) Restrições do sistema viário urbano: restringe as áreas que ocupam as estradas dentro do bairro, significa que não é tido em consideração no modelo dinâmico de projeção.
- e) Restrições da Ocupação: são as áreas que ficam excluídas das análises devido a sua restrição por tratar-se de uma área de preservação, faixa de rios ou linhas de transmissão de energia elétrica, e por estar em contempladas no plano diretor do município.

Da enorme quantidade de variáveis que influenciam em maior ou menor medida os processos de crescimento e ocupação urbana, como as variáveis de caráter naturais, urbanas ou políticas institucionais, foi selecionado somente um conjunto limitado das mesmas, considerando as informações disponíveis, a capacidade de sua representação



cartográfica, e a relação na configuração dos padrões de ocupação (BENAVENTE, 2008).

Nesse sentido, o estudo de Almeida (2003) analisa as variáveis independentes usadas para explicar as transições, e nesse caso, aborda a temática de mudanças de uso da terra em áreas urbanas, na qual estão conformadas por variáveis como Área servida por rede de água; Distâncias a rios e corpos de água; Distâncias a zonas comerciais em geral, industriais, residenciais e eixos de serviços; Distâncias a estradas periféricas transversais; Distâncias às principais vias existentes; Distâncias a estradas periféricas, que atravessam áreas não ocupadas, entre outras. Foram levadas em consideração parte delas, já que se trata de variáveis que explicam a dinâmica urbana.

### **3.2.4 Geração dos mapas de aptidão ou de Probabilidade de Transição**

Os mapas de Aptidão nascem da influência das variáveis anteriormente analisadas. A produção destes mapas se justifica pelo fato de eles representarem indutores e/ou condicionantes potenciais às mudanças da dinâmica urbana. Quer dizer que, o mapa de aptidão será a resultante dos mapas de fatores (indutores) e/ou restrições configurados em uma única representação.

A localização das mudanças se determina pela classificação dos mapas de Aptidões e um filtro de contiguidade. Os mapas de Aptidões determinam que pixels mudem de acordo com a maior aptidão, ou seja, tem pixels com maior probabilidade de mudança que outros, dependendo de sua vizinhança com os fatores influentes. A geração dos mapas de Aptidões de mudanças de “categorias de usos d’água” se pode fazer com um enfoque dedutivo com uma “Avaliação por Múltiplos Critérios” ou com um enfoque indutivo, a partir de “Regressão Logística Multivariada” (CABRAL; ZAMYATIN, 2006).

#### **3.2.4.1 Avaliação por Múltiplos Critérios**

A tomada de decisão em planejamento urbano e de infraestruturas precisa de grande número de variáveis do meio físico, naturais, social e econômico, quantificáveis ou não, cujas combinações podem produzir diferentes alternativas de uso e demanda das infraestruturas básicas. Nesse sentido, ferramentas de análise que permitam reunir essas variáveis, atribuir pesos e valores às mesmas, dando prioridade às

diferentes alternativas, facilitam a tomada de decisão. A análise multicritério é um método de análise de alternativas para resolução de problema que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar as alternativas prioritárias para o objetivo considerado (FRANCISCO *et al.*, 2007).

Os mapas de aptidões podem ser gerados através da análise multicritério, que está dentro do grupo das rotinas de “apoio à decisão” no ambiente SIG, envolvendo vários conceitos. Segundo Weber *et al.* (1998), a decisão significa uma escolha entre alternativas, baseado em algum critério. O que denota que um critério é uma base mensurável e avaliável para uma decisão, sendo esta, um fator ou uma restrição.

O mesmo autor acrescenta que, uma regra de decisão é o procedimento pelo qual critérios são combinados para uma determinada avaliação que aponta a um objetivo específico. A avaliação pode ser feita por critérios múltiplos ou com múltiplos objetivos, e estes objetivos podem ser complementares ou conflitantes.

A avaliação multicritério, conhecida dentro do programa Idrisi como “MCE” (*Multi-Criteria Evaluation*), permite integrar as variáveis físicas e humanas que configuram a base para explicar e descrever as dinâmicas urbanas analisadas. Esta rotina, pondera e compensa as variáveis, e finalmente trás a somatória linear, oferece como resultado uma série de mapas que expressam a capacidade de pertencer ao território um determinado uso (PAEGELOW; OLMEDO; TORIBIO, 2003). Ou seja, gera os mapas do potencial de aptidão das classes de consumos que servem para visualizar as áreas mais susceptíveis de mudanças de classes.

Para concretizar a Avaliação multicritério, e obter esse grupo de imagens que expressaram o potencial de evolução de aptidão para cada categoria de Uso, se deve seguir uma série de passos de padronização e ponderação das variáveis.

#### 3.2.4.1.1 Padronização dos Fatores e Restrições

A padronização é necessária para transformar as diferentes unidades de medida das imagens de cada fator em valores comparáveis de aptidão. Primeiramente, neste processo de padronização dos fatores, se calcula, por meio do módulo *Distance* do Idrisi, a “Distância Euclidiana” de cada célula (ou pixel do mapa) até o grupo de células objetivo mais próximo (EASTMAN, 2012). As distâncias são

produzidas em unidades de referência especificadas no arquivo objetivo, pelo que a unidade de medida das imagens de critérios foi o metro.

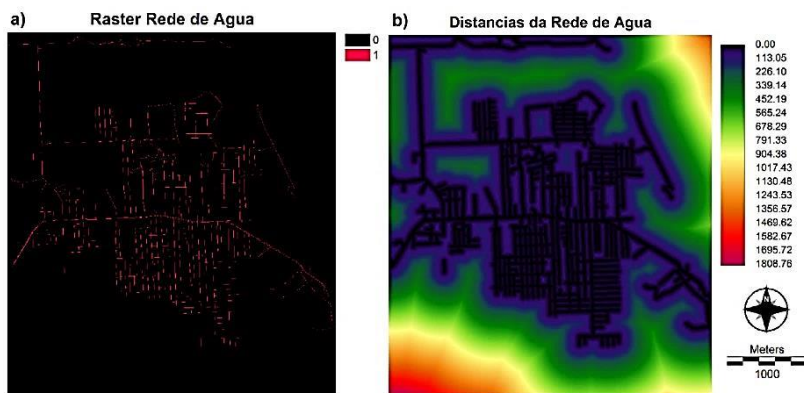
Segundo Borges, Silva e Castro (2007), o método de classificação por “Distância Euclidiana” é um procedimento de classificação supervisionada que utiliza esta distância para associar um pixel a uma determinada classe. Nosso caso (Figura 13.a), no início da imagem está definida por dois grupos que são os pixel que representam a variável e outro grupo, o restante do espaço Raster. De modo que, na classificação, cada pixel será incorporado a um agrupamento, através da análise da medida de similaridade de distância Euclidiana, que é dada pela equação (BORGES; SILVA; CASTRO, 2007):

$$D(x, m) = (x^2 - m^2)^{1/2} \quad (3.1)$$

Onde:  $x$ = coordenadas do pixel que está sendo testado; e  $m$ = média de um agrupamento, ou seja, representa as coordenadas do pixel do agrupamento (objeto: área, linha ou ponto) a menor distância do pixel testado.

Conforme Borges, Silva e Castro (2007), o classificador compara a distância euclidiana do pixel à média de cada agrupamento. O pixel será incorporado ao agrupamento que apresenta a menor distância. Este procedimento é repetido até que toda a imagem seja classificada. Finalmente o resultado do processo de classificação é uma imagem

Figura 13 - a) Exemplo da Variável Rede de Água da Área de Estudo em formato Raster binário. b) Exemplo do Mapa com escala de cores representando as distancias à Rede de Água, aplicando o Módulo *Distance* do Idrisi.



Fonte: O autor (2016).

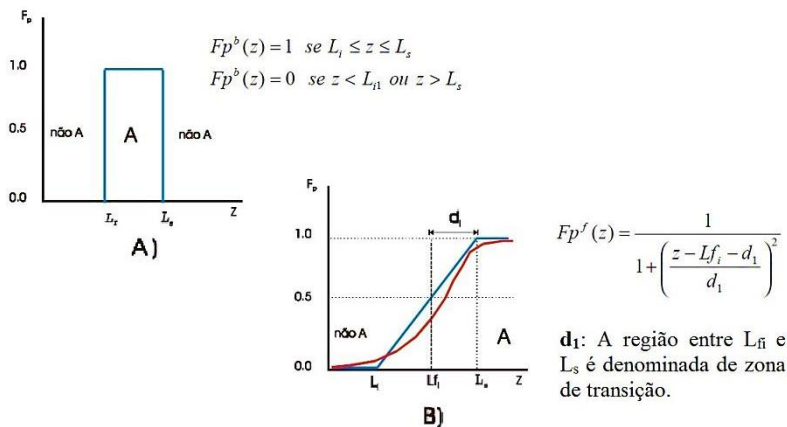
digital que constitui um mapa de pixels classificados, representados por símbolos gráficos ou cores (Figura 13.b).

O passo seguinte na padronização dos mapas de fatores é a utilização da função de Lógica difusa ou lógica da incerteza *Fuzzy*, que servirá para definir o grau de pertinência de um objeto ou pixel do mapa, a um determinado conjunto ou fenômeno (PÉREZ-MIRANDA *et al.*, 2011). Neste caso, para definir o potencial de mudança que tem um determinado uso atual (Classes de Consumo da Água), a outro uso futuro predefinido.

A lógica *Fuzzy* ou de incerteza, emula o raciocínio aproximado de nosso cérebro, permitindo trabalhar conceitos indefinidos e imprecisos (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). Apoia-se na ideia de que as partículas Elementares indivisíveis possuem continuidade com diferentes propriedades em diferentes localizações (GRACIA, 2009).

De acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2004), o conjunto *Fuzzy* é uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões não tem ou não pode definir limites rígidos (bordas) entre classes e é utilizada sempre que se tiver que lidar com ambiguidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos empíricos (BURROUGH; MCDONNELL, 1998).

Figura 14 - Exemplo de função de pertinência para conjuntos booleanos (a) e difusos (b).



**Eixo x**, variação do atributo ( $z$ ) dos elementos, usado como parâmetro para classificação.

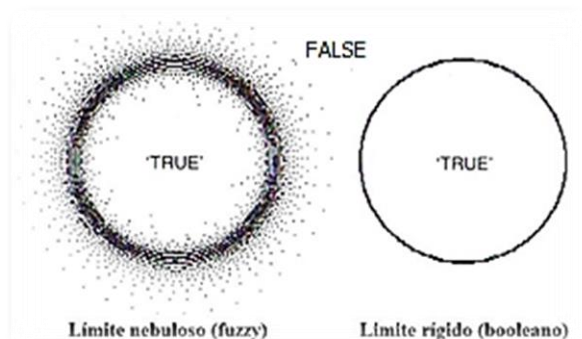
**Eixo y**, valores possíveis para a função de pertinência ( $F_p$ ).

Fonte: Adaptação de Câmara, Davis e Monteiro (2004).

Seguindo a análise feita por Câmara, Davis e Monteiro (2004), sobre os conjuntos booleanos *versus* conjuntos nebulosos, estes afirmam que a caracterização formal de um conjunto, pode-se recorrer ao conceito de função de pertinência ( $F_p$ ). Função de pertinência é uma função em que, dado valor de um atributo  $z$ , ela determina se o elemento avaliado pertence ou não a um determinado conjunto em análise, podendo ser usada para classificação de qualquer tipo de entidade (Figura 14).

Um conjunto booleano possui uma função de pertinência onde seus limiares são definidos de forma nítida (Figura 14.a). Entretanto, um conjunto *Fuzzy* ou difusa tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares (Figura 14.b) entre as classes (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2004). Desta maneira se ilustra na Figura 15, a diferença de fronteiras entre conjuntos booleanos e conjuntos *Fuzzy*.

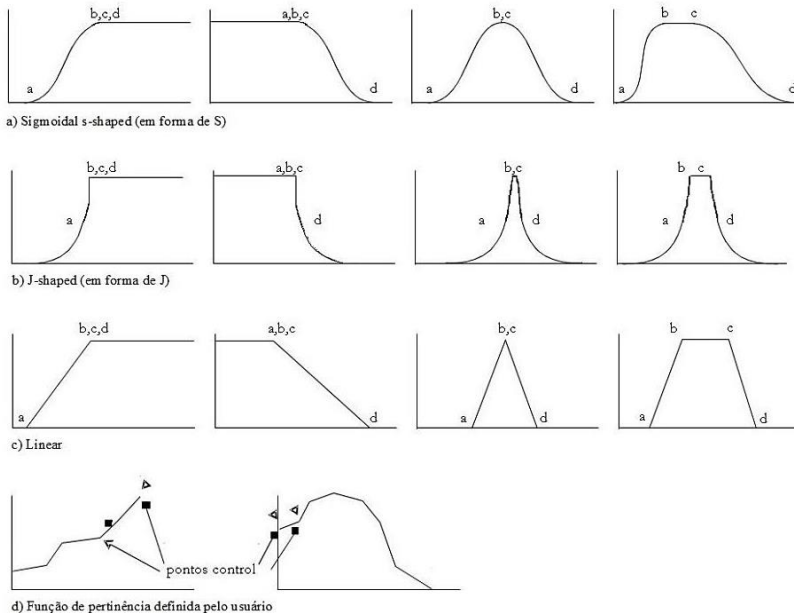
Figura 15 - Diagrama de Venn ilustrando a diferença de fronteira entre um conjunto fuzzy e um conjunto booleano.



Fonte: Adaptação de Burrough e Mcdonnell (1998).

A lógica difusa, aplicada com o módulo *Fuzzy* no programa IDRISI, avalia os valores ou possibilidades de pertinência ao grupo de células difusas. Estes valores (0-255 byte) que recebem as células, estarão baseadas em alguma das quatro funções de pertinência *Fuzzy* (Figura 16):

Figura 16 - Funções de pertinência *Fuzzy* do Idrisi 17.0.



Fonte: Adaptação de Eastman (2012).

a) Sigmoidal s-shaped (em forma de S): se consegue usando uma função cosseno, e a função requeiram as posições (eixo x) de quatro pontos de inflexão, representadas por as letras A, B, C e D, que governam a forma da curva. Esta função, como também as outras, pode adotar formas diferentes, começando pela esquerda da Figura 12.a, a forma da função é “Monotonicamente Crescente”, significa que se eleva de 0 a 1 (entrada de dados ponto de inflexão A e B= C= D) e nunca diminui. A seguinte função sigmoidal é “Monotonicamente Decrescente”, que começa em 1, logo diminui até o 0 (entrada de dados, ponto A= B= C e D), onde permanece. As últimas duas funções são simétricas e assimétricas, chamadas assim, porque crescem e logo decresce (entrada de dados, pontos da simétrica A, B=C e D; pontos da assimétricas A, B,C e D) o escore de aptidão ate chegar a 0 (eixo y).

b) J-shaped (em forma de J): é comumente utilizada, mostra as mesmas opções de funções da Sigmoidal, ou seja, função

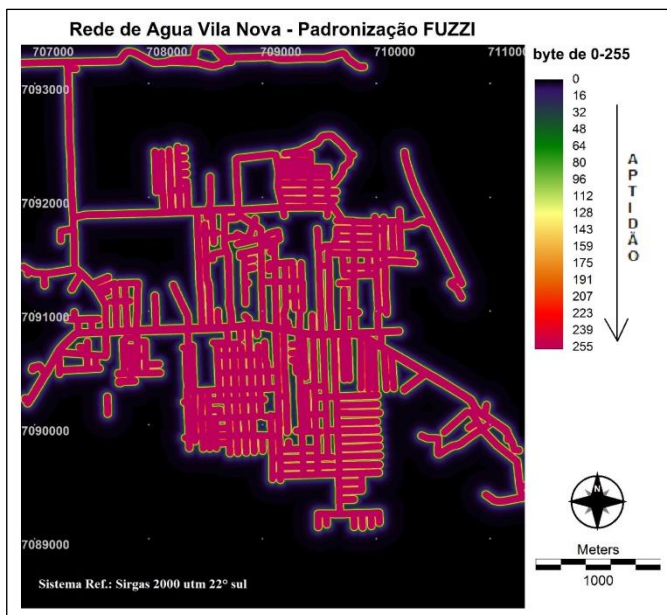
Monotonicamente Crescente, Decrescente, Simétricas e Assimétricas, a diferença está, em que a parte curva, neste caso não responde a uma função “cosseno”, senão que representa uma função exponencial, pelo que a função aproxima-se ao “0”, mas só consegue no infinito. Dai que, em todas as opções da função, os pontos de inflexão A e D indicam os pontos nos quais a função chega a “0,50”, em vez de “0” (Figura 16.b).

- c) Linear: Esta função se utiliza extensivamente em aparelhos electrónicos que dão a conhecer a lógica do grupo difuso (Figura 16.c).
- d) Função de pertinência definida pelo usuário: a função definida pelo usuário é aplicável quando a relação entre o valor e a pertinência difusa não segue nenhuma das três funções analisadas anteriormente. Esta função tem um número ilimitado de “pontos de controle” e a ligação entre eles são lineares difuso (Figura 16.d).

No processo de padronização, a função *Fuzzy*, oferece a opção de estandardizar os fatores em uma escala de números reais de 0-1, ou na escala formato byte de 0-255, onde os valores próximos a zero (menos apto) indicam baixa aptidão e os valores próximos a 255 (mais apto) indicam maior aptidão dos pixels para que encontre o uso analisado (Figura 17).

Em síntese, significa que a função *Fuzzy* parte da ideia que não existe o limite fixo na incidência de um fator. Essa probabilidade de mudanças ou do agente modificador do objeto estudado tem uma área de transição e esse é o processo que faz o operador *Fuzzy*, por meio de diferentes funções, mostra, por exemplo, como uma área (com uma classe de Uso ou Intervalo) pode ser influenciada por uma variável de 100% a 0% (255 a 0 byte), ao mesmo tempo em que nos afastamos do fator.

Figura 17 - Exemplo de Mapa padronizado com a função *Fuzzy J-shaped Monot. Decrescente* no IDRISI 17.0 do fator “Rede de Água” da Área de Estudo.



Fonte: O autor (2016).

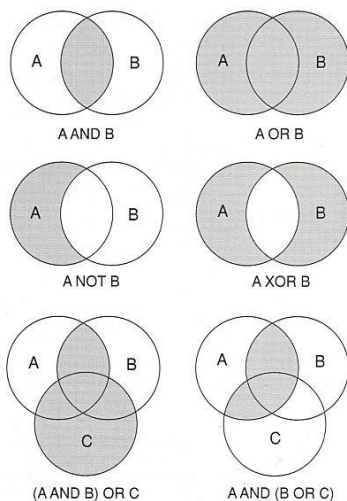
Depois da padronização dos fatores por meio dos algoritmos de “Distância Euclidiana” e “Lógica Difusa”, se devem padronizar as restrições que tem o modelo de análise multicritério, ou seja, as áreas que estão excluídas das possíveis mudanças que podem induzir os fatores.

Significa que as “Restrições” são mapas binários, Apto (1) ou Não Apto (0), de caráter booleano nas interações entre dados espaciais. Onde as áreas excluídas das análises ou máscaras gráficas (*mask*) podem corresponder ao fundo não utilizável da imagem, o tipo do Uso incompatível com o analisado ou trata-se de classes ou intervalos daquelas variáveis onde se comprovou a ausência justificada de tais categorias. Algumas das restrições são comuns às diferentes categorias de classe, enquanto que outras só correspondem a uma classe de Uso (PAEGELW; OLMEDO; TORIBIO, 2003).



Conforme Câmara, Davis e Monteiro (2004), a álgebra booleana utiliza os ponderadores lógicos <AND> “E”, <OR> “OU”, <XOR> “Exclusivo OU” e <NOT> “NÃO” para determinar se uma hipótese satisfaz ou não uma condição particular (Figura 18).

Figura 18 - Diagrama de Venn com os resultados da aplicação de operadores de lógica booleana para dois ou mais conjuntos.



### Operadores algébricos de mapas

<AND> “E”: retorna a interseção entre dois ou mais conjuntos, ou seja as entidades que pertencem tanto ao conjunto A e B.

<OR> “OU”: retorna a união dos conjuntos, que são entidades que pertencem tanto ao conjunto A como ao B.

<XOR> “Exclusivo OU”: recupera as entidades que pertencem a um conjunto e ao outro, mas não aos dois conjuntamente.

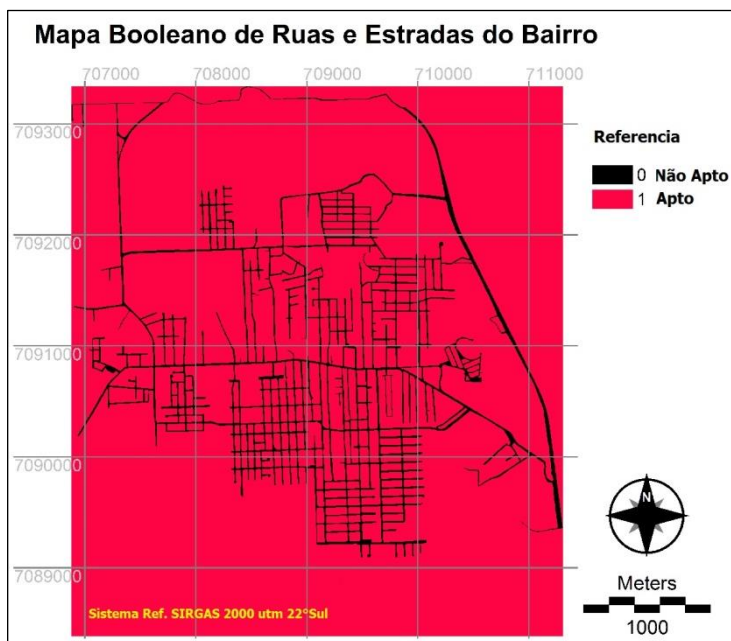
<NOT> “NÃO”: da diferença identificando as entidades que pertencem a um conjunto A, mas não ao B.

Fonte: Adaptação de Burrough e McDonnell, (1998) e Câmara, Davis e Monteiro (2004).

Em resumo, de acordo com Eastman (2012), os fatores contínuos da tomada de decisões de multicritérios são funções de pertença de grupos difusos, enquanto que as restrições booleanas são funções de pertinência de grupos rígidos.

Na Figura 19 está ilustrado um exemplo de um mapa de áreas de ruas, estradas e rodovias restringidas às mudanças de classes na Área de estudo, resultado da operação booleana.

Figura 19 - Exemplo de Mapa da Restrição (Booleano) de ruas, estradas e rodovias na Área de Estudo.



Fonte: O autor (2016).

### 3.2.4.1.2 Ponderação dos Fatores

Logo após padronizar os critérios, o passo seguinte é ponderar os fatores analisados. Para isso devemos começar descrevendo o processo escolhido para estimar o peso final que terá cada fator, ou seja, a incidência ou aptidão de um fator em relação aos outros fatores, procurando obter mediante uma escala quantitativa, a ordem dos fatores em função de seu peso em relação aos demais.

Assim, para a atribuição de pesos dos fatores adotou-se uma técnica desenvolvida pelo matemático estadunidense Thomas Saaty na década de 1970, como parte de um processo analítico para tomada de decisões, chamado *The Analytic Hierarchy Process - AHP* (Processo de Hierarquização Analítica). A mesma consiste em normalizar a compreensão intuitiva de problemas complexos mediante a construção

de um modelo hierárquico. Ou seja, criar níveis hierárquicos de acordo com a função dos diversos elementos envolvidos no problema analisado.

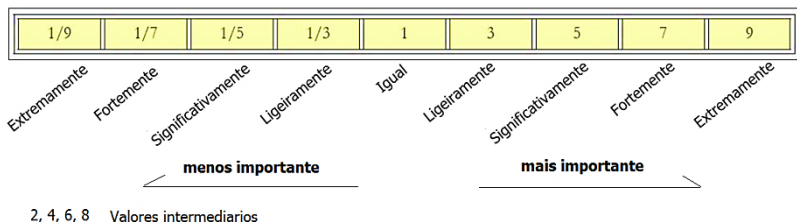
Conforme a Saaty (2008), para a tomada de decisões de maneira organizada deve-se gerar uma decomposição das prioridades, nas que se podem salientar: definir o problema ou tema conflitante, e determinar o tipo de conhecimento buscado a dar valor; estruturação das hierarquias das decisões (de maior a menor); construção da matriz de comparação de par a par; e por último, usamos as prioridades obtidas a partir das comparações de peso, para somar a coluna de cada fator e obter o peso relativo, logo, se pondera para obter o peso global de cada fator (Equação 3.2).

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Na matriz elaborada por Saaty (Equação 3.2), os fatores ou atributos a serem comparados são dispostos em uma matriz  $n \times n$ , na mesma ordem tanto nas linhas quanto nas colunas. Onde  $a_{ij} = w_i / w_j = 1 / a_{ji}$ . Portanto,  $w_1/w_2$  expressa a preferência do fator da linha 1 em comparação com o fator na coluna 2, e o valor chama-se  **$a_{12}$** . Do mesmo modo,  $w_2/w_1$  expressa a preferência do fator da linha 2 em comparação com o fator na coluna 1, e o valor chama-se  **$a_{12}$**  (FUENTES-BARGUES; FERRER-GISBERT, 2015).

Importante acrescentar que para fazer as comparações precisa-se de uma escala numérica que indique quantas vezes mais importante um fator é com respeito ao outro. Nesse sentido, os estudos psicológicos demonstram que as pessoas não conseguem comparar simultaneamente mais de  $7 \pm 2$  elementos de uma escala. Porém, Satty sugere uma escala para comparação par a par, dividida em nove níveis numéricos, os quais descrevem a intensidade de importâncias, ou preferência (Figura 20).

Figura 20 - Escala contínua de 9 pontos de comparação par-a-par dos pesos de fatores.



Fonte: Adaptação de Eastman (2012).

A descrição da intensidade de importâncias, ou preferência na Escala Fundamental de comparação par a par de Saaty, contém as seguintes definições segundo o grau de importância (SOUZA; SCHAAL, 2004):

- **Grau 1.** Igual importância: Os dois atributos contribuem de forma idêntica para o objetivo.
- **Grau 3.** Ligeiramente mais importante: A análise e a experiência mostram que um atributo é ligeiramente mais importante que o outro.
- **Grau 5.** Significativamente mais importante: A análise e a experiência mostram que um atributo é significativamente mais importante que outro.
- **Grau 7.** Fortemente mais importante: A maior importância de um atributo em relação ao outro pode ser demonstrada na prática.
- **Grau 9.** Extremamente mais importante: Sem qualquer dúvida um dos atributos é absolutamente predominante para o objetivo.
- **Grau 2, 4, 6 e 8.** Valores intermediários: Podem ser utilizados quando necessário, a critério do julgador.

Dado que a matriz é simétrica, só se necessita preencher a metade do triângulo inferior, o resto das células é simplesmente o valor recíproco. Depois que todos os pares foram comparados, o vetor próprio principal ( $w$ ) é calculado segundo a equação (3.3):

$$A \cdot A = \lambda_{\max} \cdot w \quad (3.3)$$

Onde “ $\lambda_{\max}$ ” é o máximo autovalor da matriz A (Equação 3.5), e “ $w$ ” é o autovetor. Pelo que o autovetor com o máximo autovalor da matriz de comparação fornecerá a ordem de prioridade dos fatores e pode ser calculado pela Equação (3.4):

$$w_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \bigg/ \sum_{k=1}^n \left[ \left( \prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (3.4)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \left( \frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_2}{w_2} + \dots + \frac{w'_n}{w_n} \right) \quad (3.5)$$

$$w' = A \times w$$

Segundo Souza e Schaal (2004), para o caso de uma matriz recíproca em que as comparações são baseadas em medidas exatas, o máximo autovalor ( $\lambda_{\max}$ ) é exatamente igual ao número de elementos de cada coluna ou linha. Deste modo, o máximo autovalor pode ser usado como uma medida da consistência da matriz, ou seja, quanto mais próximo de “n” for o máximo autovalor mais consistente será a avaliação efetuada. Por conseguinte o índice de consistência (*Consistency Index - CI*) será calculado da seguinte forma (equação 3.6):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.6)$$

Outro indicador empregado por Saaty foi o índice de aleatoriedade (*Random Index - RI*). É um índice de consistência de uma matriz recíproca gerada aleatoriamente e a partir de simulações usando a escala de 1 a 9, nos que se definem valores para o índice de aleatoriedade (Tabela 1) de acordo com a ordem da matriz (SOUZA; SCHAAL, 2004):

Tabela 1 - Índice de aleatoriedade de Saaty.

N	RI	N	RI	N	RI
1	0,00	6	1,24	11	1,51
2	0,00	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,90	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

Fonte: O autor (2016).

Finalmente, o grau ou taxa de consistência (*Consistency Ratio - CR*), que indica probabilidade de que os valores da matriz se gerem de forma aleatória, (equação 3.7). Segundo Saaty (2008), um grau de consistência de 0,10 ou menor é considerado aceitável, maior que isso deve ser reavaliado novamente.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.7)$$

Nesse sentido, o grau de consistência que dá importância relativa dos fatores por meio do autovetor principal da matriz de comparação pareada, poderá ser calculado com a rotina *Weight-AHP* no Idrisi, estabeleceu-se uma comparação quantitativa de cada fator de forma unida com o outro, de acordo com a importância de cada um para a aptidão da área (SCARASSATTI, 2007).

### 3.2.4.1.3 Avaliação Multicritério

A última etapa do processo de avaliação por critérios múltiplos, pretende abordar a função utilizada para integrar as variáveis, como os mapas de fatores de aptidão ponderados com seus respectivos pesos e os mapas de restrições determinantes, para logo serem combinadas essas informações, por alguns dos métodos de agregação que conta o programa Idrisi 17.0. Um desses métodos é a “Combinação Linear Ponderada” (*Weighted Linear Combination - WLC*), e outro método é “Média Ponderada Ordenada” (*Ordered Weighted Average - OWA*), ambos integrados dentro do módulo de avaliação multicritério (*MCE*). Desta forma, com a aplicação do módulo, MCE permite obter uma série de mapas de potencialidade (na escala de 0 a 255 bytes) que expressam a capacidade de aptidão do território para cada categoria de usos do serviço básico (Água).

A avaliação multicritério está determinada pela tomada de decisões, que estão dadas por uma eleição entre alternativas. A base para uma decisão são os critérios, e a avaliação de vários critérios combinados procura determinar uma imagem única de decisões de acordo com o objetivo específico da análise. Assim, na imagem final cada pixel representa a nota recebida, considerando todos os critérios escolhidos e os pesos atribuídos a eles na análise conjunta (WEBER, 1998).

Com relação à operação de agregação conhecida como Combinação Linear Ponderada, pode-se dizer que os fatores são normalizados a um intervalo numérico comum, e depois combinados por meio de média ponderada. O resultado é um mapa contínuo de aptidão que pode ser mascarado com um ou mais mapas booleanos para limitar áreas restritas, e finalmente juntar para produzir uma decisão definitiva (EASTMAN; JIANG, 1996). Neste método, como a ponderação é linear, uma pontuação baixa em um critério pode ser compensada por uma alta pontuação em outro, conhecido como “compensação por substituição”. Isto não estaria representando a incidência real dos fatores, este procedimento combinado é caracterizado por um nível médio de risco onde a diferença do método “média ponderada ordenada”, considera que a importância dos pesos dos fatores é variável.

Do mesmo modo que o método *WLC*, o método “média ponderada ordenada” combina os fatores e as restrições. No entanto, além de considerar os pesos dos fatores, este método permite ordenar estes pesos, podendo tomar maior ou menor risco, dando mais uma opção ao processo de avaliação por múltiplos critérios.

Ronald Yager em 1988 propôs uma variante do operador de média (*WLC*), chamado de Média Ponderada Ordenada (*OWA*), que propõe o controle contínuo sobre o grau de risco do operador e do grau de compensação entre critérios. Em sua implementação, os critérios são ponderados em função de sua ordem de classificação, em vez de suas qualidades inerentes, produzindo dois conjuntos de pesos: os pesos de critério, que se aplicam a fatores específicos e pesos de ordem, que se aplicam aos fatores classificados, após a aplicação dos pesos de critério (EASTMAN; JIANG, 1996).

Segundo Dalmas (2008), isto significa que na média ponderada ordenada, há total controle do nível de compensação entre os fatores e do risco da análise. Este controle é possível através de um segundo conjunto de pesos ordenados, que controla o nível de compensação, ou

seja, a influência que, pixel a pixel, cada fator ponderado tem na imagem final. Do modo que para o cálculo do risco e compensação na análise, se utiliza os seguintes algoritmos (EASTMAN *et al*, 1998, *apud* CALIJURI *et al.*, 2006):

$$Risco = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i) \cdot Oi \quad (3.8)$$

$$Compensação = 1 - \sqrt{\frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \left( Oi - \frac{1}{n} \right)^2}{n-1}} \quad (3.9)$$

Onde:

$O_i$ : peso ordenado;

$i$ : posição do peso ordenado;

$n$ : número de fatores.

Segundo Dalmas (2008), o risco da análise pode ser alto ou baixo. Numa análise de baixo risco há uma minimização das áreas aptas porque estas devem ser de alta aptidão para todos os fatores envolvidos, ou seja, o valor mínimo para qualquer pixel determina o valor agregado final. No caso da análise de alto risco, o número de áreas aptas é maximizado, porque uma área é considerada de alta aptidão desde que satisfaça os requisitos de pelo menos um fator, ou seja, o valor máximo para qualquer pixel determina o valor agregado final.

Para melhor compreensão do risco de análise, devemos descrever o enfoque booleano, que podem ser consideradas como funções extremas, são soluções adversas ao risco (operador *AND*), onde é avaliado como o valor mínimo para um pixel através de todos os fatores, ou uma solução de risco (operador *OR*), na qual é avaliado como o valor máximo para um pixel a traves de todos os fatores. Nesse sentido o enfoque do operador *WLC*, está baseado na média, que suaviza ou amolece as decisões duras do enfoque booleano e evita os extremos.

Na Tabela 2 se observa os pesos de ordem nas diferentes opções que permite o método *OWA*, ainda assim, pode assinar-lhe muitas mais combinações, onde a soma dos valores deverá ser 1,00. Quando as combinações de valores dos pesos de ordem são iguais, quer dizer que fatores avaliados têm o mesmo peso de ordem, posicionando-se na metade do caminho entre *AND* e *OR* (EASTMAN, 2012). Isto produz o mesmo resultado que o método *WLC*, significa que o método *WLC*, é um caso particular das infinitas combinações que posse o método *OWA*.



Tabela 2 - Exemplo de Pesos de Ordem, Método OWA.

Pesos de Ordem			Resultado
Min (1)	(2)	Max (3)	
1.00	0.00	0.00	174
0.90	0.10	0.00	175
0.80	0.20	0.00	177
0.70	0.20	0.10	179
0.50	0.30	0.20	183
0.40	0.30	0.30	186
0.33	0.33	0.33	187
0.30	0.30	0.40	189
0.20	0.30	0.50	191
0.10	0.20	0.70	196
0.00	0.20	0.80	198
0.00	0.10	0.90	200
0.00	0.00	1.00	201

Os pesos de Ordem com o mesmo resultado que *WLC* (Combinação Linear Ponderada)

(1), (2), (3), (n): Fatores.

Resultado = (1)\*PO<sub>1</sub> + (2)\*PO<sub>2</sub> + (3)\*PO<sub>3</sub> + ... + (n)\*PO<sub>n</sub>.

PO<sub>i</sub> : Pesos de Ordem designado a cada fator.

$\sum PO_i = 1,00$

Exemplo de Valores do pixel analisado [0 - 255 byte].

Fonte: Adaptação de Eastman (2012), Eastman e Jiang (1996).

Conforme a Eastman (2012), qualquer atribuição de pesos de ordem resulta em uma regra de decisão que encontrasse em alguma parte de um espaço de estratégia de decisão triangular definida pelas dimensões de Risco e Compensação (Figura 21), que representam as equações 3.8 e 3.9.

Figura 21 - Espaço de Estratégia de Decisão, método OWA.



Fonte: Adaptação de Eastman (2012).

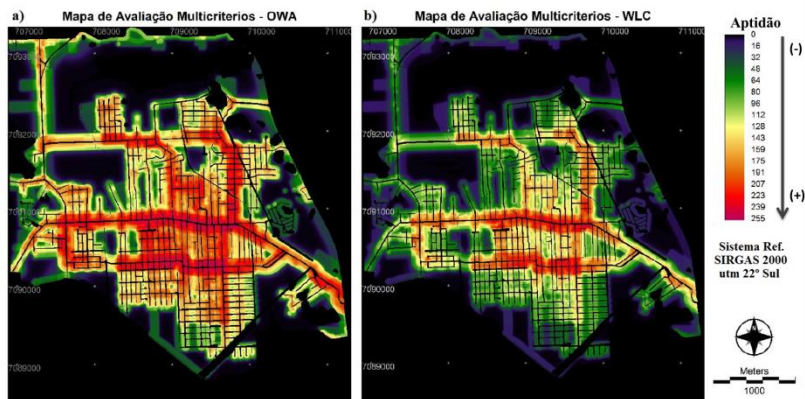
Quando os pesos de ordem são predominantemente designados aos fatores com menor pontuação, há uma maior aversão ao risco (enfoque AND). Do modo oposto, no extremo direito do gráfico (Figura 19), quando os pesos de ordem são designados principalmente aos fatores com a

maior pontuação, há uma predisposição a um risco maior (mais de um enfoque *OR*).

Na aplicação da metodologia para obter o mapa de probabilidades de mudanças da Avaliação multicritério se optou por utilizar a Média Ponderada Ordenada (*OWA*) justamente por oferecer o controle sobre o risco e a compensação através de um conjunto de pesos ordenados para diferentes posições, ordenadas, de fatores a cada localização (*CALIJURI et al.*, 2006). Do modo que a aplicação deste último módulo se tem como resultado a imagem Raster de probabilidade de incidências em escala 0-255 byte. No primeiro caso (Figura 22.a) mostra o mapa feito com o método *OWA*, de forma idêntica se analisam os mesmos fatores e restrições por meio do método *WLC* (Figura 22.b).

Em conclusão, como resultado das diferentes restrições projetadas com operador booleano, mais os fatores projetados com a lógica difusa, determinado seus pesos com relação seus pares, logo os ordem de pesos por meio do operador Média Ponderada Ordenada, se obteve como resultado os mapas (Imagens Raster 0-255 byte) de Avaliação Multicritério que representa a capacidade de aptidão de uma área de mudar de uso ou classe de consumo d' água.

Figura 22 - Exemplo Mapa Raster da Avaliação por Múltiplos Critérios (mapas de aptidão) com o método *OWA* e *WLC* da Área de Estudo.



Fonte: O autor (2016).

### **3.2.5 Modelo de previsão de mudança de estágio - Cadeia de Markov**

Nesta etapa metodológica da pesquisa, a dinâmica urbana do bairro em estudo será analisada, comparando dois mapas dos usos do serviço básico que se sucedem cronologicamente. A ferramenta para determinar ou quantificar essa evolução dos diferentes usos do serviço nos lotes será por meio do algoritmo da “Cadeia de Markov”, que se encarrega de simular a predição do estado de um sistema num tempo determinado a partir de dois estados precedentes. Ou seja, com a comparação dos mapas, o módulo de Markov estima e configura uma matriz de probabilidades de transição entre todas as categorias ou intervalos envolvidos e projeta uma série de mapas de usos para um tempo futuro requerido (PAEGELOW; OLMEDO; TORIBIO, 2003).

Na cadeia de Markov, a mudança da paisagem e os processos de projeção espacial podem ser simulados usando técnicas lineares estocásticas. Um processo estocástico, em oposição a um processo determinístico, é governado por variáveis aleatórias e descritíveis somente em termos de probabilidade. A Cadeia de Markov é considerada um modelo matemático que descreve um tipo de processo que se movimenta em uma sequência de passos através de um conjunto de estados (LAMBIN, 1994). Ponderando a mudança dos usos ou categorias entre uma série de estados discretos a partir da probabilidade derivada do estado atual.

A simplicidade operacional e matemática do modelo da Cadeia de Markov permite ser aplicado a dados provenientes de sensoriamento remoto, cadastro temático, etc., e ser implementados em SIG, sem possuir um grande volume de dados antigos para prever o estado futuro. Por outro lado, se caracteriza por não mudar com o tempo as probabilidades de transição, permanecendo constantes durante todo o período analisado, o que o caracteriza como um processo estacionário (PEDROSA; CÂMARA, 2002).

Por outro lado, uma importante limitação dos modelos de cadeia de Markov é que têm a hipótese de que a probabilidade de um determinado conjunto de resultados depende somente da distribuição atual entre os estados discretos. Significa que este algoritmo precisa contar com as mesmas categorias em todas as datas da série temporal dos mapas, de forma tal que o desaparecimento ou novo aparecimento de alguma das categorias impede a aplicação do modelo (LAMBIN, 1994 e PAEGELOW; OLMEDO; TORIBIO, 2003).

Nos processos que envolvem a evolução urbana, sejam eles naturais ou antrópicos, se têm utilizado amplamente os modelos de simulação dinâmica. Nesse sentido, a Cadeia de Markov é considerada um modelo estocástico com tempo discreto e tem sido utilizada bastante para simular sistemas dinâmicos (BARROS, 2012). A descrição dos processos estocásticos por meio do modelo matemático de Markov, pode ser resumida pela equação 3.10.

$$\Pi(t+1) = P^n \cdot \Pi(t) \quad (3.10)$$

Do modo que  $\Pi(t)$  é o estado do sistema, considerado um vetor coluna, com “n” elementos, representando a condição do sistema em um tempo “t” particular (por exemplo, frações de área em cada “n<sub>i</sub>” tipo de categorias de consumo de água),  $\Pi(t+1)$  é o estado do sistema após o intervalo “t+1” e  $P^n$  são os estados passíveis de acontecer, elevada a “n” passos de tempo do intervalo considerado, que são representados em matrizes (equação 3.11) de probabilidades de transição (ALMEIDA, 2003).

$$P^n = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Esta matriz de transição representa a probabilidade de passar de um estado i (tempo inicial “t”) para outro estado j (intervalo de tempo “t+1”) é dado para cada conjunto ordenado de estados (BRIASSOULIS, 2000).

No que se refere a esta matriz de transição, o processo estocástico de Markov admite várias ordens de implantação na relação de estados. Segundo Meirelles, Câmara e Almeida (2007), um deles é a de primeira ordem, que assume que o estado futuro do sistema depende somente do seu estado presente e das possibilidades de transição, sendo independente da trajetória que o levou àquele estado (estados em um tempo t-1). Este modelo não ignora o passado, mas assume que toda a informação do passado está concentrada no presente estado do sistema.

Por outro lado, também é possível definirem-se cadeias cuja relação de dependência envolve mais do que um estado precedente. A cadeia de dependência dupla, por exemplo, é dependente de dois estados precedentes, se estes dois estados são os dois imediatamente

precedentes, a cadeia é de segunda ordem, pelo que nesse caso, a projeção de um comportamento futuro seria muito mais difícil (LAMBIN, 1994).

Conforme Almeida (2003), as Cadeias de Markov podem ser ajustadas para incorporar efeitos de mais alta ordem, como a influência de variáveis endógenas e exógenas, efeitos espaciais e heterogeneidade.

No caso do procedimento discreto da cadeia markoviana de segunda ordem, onde o valor do tempo  $t_2$  dependerá dos valores dos tempos  $t_0$  e  $t_1$ , e considerando as análises desta pesquisa, o algoritmo compara dois mapas de Categorias de Usos (classes de consumo de água) que se sucedem cronologicamente. Este modelo também estima uma matriz de probabilidade de transição, materializada numa série de mapas de Categorias de Usos (um para cada classe de consumo) para um tempo futuro, onde a intensidade da cor (escala em byte) de cada pixel expressa a probabilidade de pertencer à Categoria ou classe de Uso analisada (PAEGELOW; OLMEDO; TORIBIO, 2003).

As Cadeias de Markov que são executadas no Sistema de Informação Geográfica IDRISI Selva 17.0 por meio do módulo *Markov*, utilizam como informações de entrada, imagens qualitativas de categorias de usos (nosso caso de consumo de água), de diferentes datas (tempo  $t_0$  e  $t_1$ , considerando também o período de tempo para projetar as imagens no tempo  $t_2$ ), e produzem como resultado uma matriz de probabilidade de transição, uma matriz de áreas de transição, e uma série de imagens de probabilidade condicional. Isto significa que a modelagem do módulo não leva em consideração as variáveis explicativas e descritivas, mas baseia-se unicamente na análise da dinâmica interna do sistema.

Figura 23 - Exemplo de uma Matriz de probabilidade de transição.

Matriz de Probabilidade de Transição entre Categorias de Usos										
	tempo t <sub>1</sub>	P (%)								Total
tempo t <sub>0</sub>	Classes	1	2	3	4	...	...	...	n	$\sum_{i=1}^n P_{0i}$ (%)
P (%)	1	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	...	...	...	P <sub>1n</sub>	100.00
	2	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>24</sub>	...	...	...	P <sub>2n</sub>	100.00
	3	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>34</sub>	...	...	...	P <sub>3n</sub>	100.00
	4	P <sub>41</sub>	P <sub>42</sub>	P <sub>43</sub>	P <sub>44</sub>	...	...	...	P <sub>4n</sub>	100.00
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100.00
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100.00
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100.00
	n	P <sub>n1</sub>	P <sub>n2</sub>	P <sub>n3</sub>	P <sub>n4</sub>	...	...	...	P <sub>nn</sub>	100.00

Data: t<sub>0</sub> < t<sub>1</sub>

**P<sub>11</sub>** : probabilidade de uma célula (pixel) de permanecer com sua classe atual no próximo período. O mesmo acontece para **P<sub>22</sub>**, **P<sub>33</sub>**, **P<sub>44</sub>**, **P<sub>nn</sub>**.

**P<sub>12</sub>** : probabilidade das células (pixel) da classe 1 no tempo t<sub>0</sub>, de mudar para a classe 2 no tempo t<sub>1</sub>.

**P<sub>ij</sub>** : probabilidade das células (pixel), da classe i no tempo t<sub>0</sub>, de mudar para a classe j no tempo t<sub>1</sub>.

$\sum_{i=1}^n P_{0i}^{d,1} = P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} + \dots + P_{1n} = 100\%$  (A somatoria é igual a todas as celulas da Classe 1 no tempo t<sub>0</sub>).

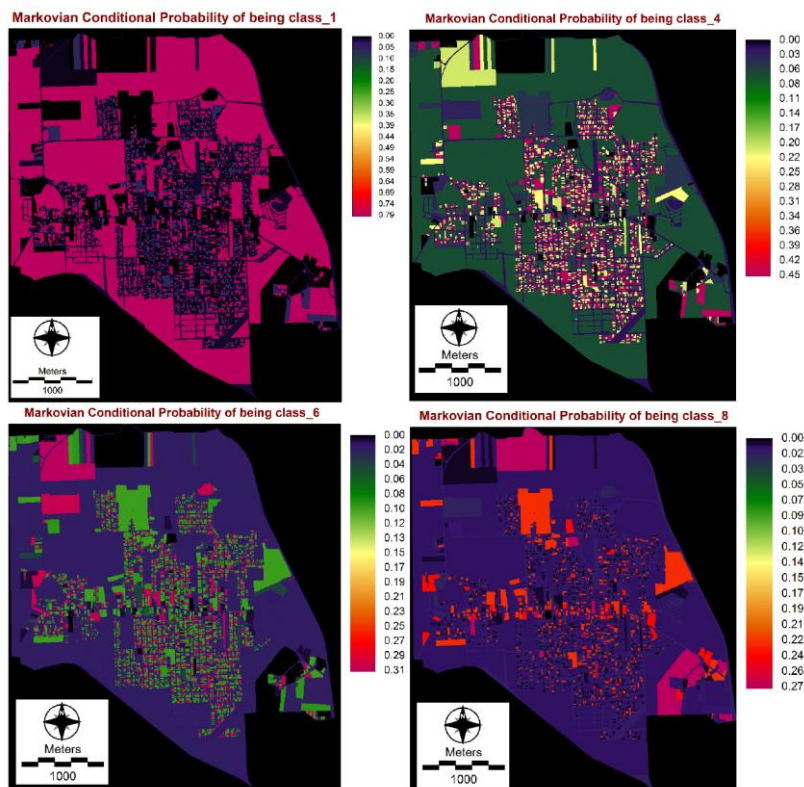
Fonte: O autor (2016).

Como se mencionou anteriormente, o resultado do processo de Markov produz uma série de matrizes e imagens que se descrevem a continuação, e são a base, junto com os mapas de aptidão obtidos por avaliação multicritério, para conseguir a simulação de cenários futuros por meio do modelo de Autômato Celular (EASTMAN, 2012):

- Matriz de probabilidade de transição: esta matriz envolve a todas as Categorias de Usos, expressa a probabilidade de uma célula (pixel), de uma dada classe, mudar para qualquer outra classe (ou permanecer na mesma) em um período seguinte (Figura 23).
- Matriz de áreas de transição: esta matriz de áreas indica o número de células (pixels) que podem sofrer uma transformação, isto é, a área total de células ou pixel (considerando que cada pixel tem as medidas preestabelecidas anteriormente) que se espera que mudem de classe (ou não) no próximo período de tempo. Esta matriz é de grande importância para completar a modelagem de predição futura das categorias de Usos mediante do Autômato Celular.

- Série de imagens de probabilidade condicional: grupo de imagens de probabilidades condicionais (0-1), para cada uma das categorias no tempo  $t_2$  (tempo futuro), como projeção desde  $t_1$ . Dessa forma, cada Categoria de Usos (Classes de Consumo de Água) demonstra a probabilidade de cada pixel designado para a categoria no próximo período. Então, cada imagem será uma “Classe de Consumo de Água” e expressará a probabilidade de cada pixel de pertencer a essa classe no próximo período de tempo (Figura 24).

Figura 24 - Exemplos de Probabilidade de transição de algumas das categorias de Usos do Consumo da Água obtidas através do módulo Markov na Área de Estudo.



Fonte: O autor (2016).

### 3.2.6 Modelo de Autômato Celular

Nesta etapa das simulações espaciais dos cenários futuros das classes de usos do serviço básico de água, convergem os trabalhos feitos até aqui, tais como, os mapas de Aptidão das variáveis obtidos por Avaliação Multicritério, os mapas das “Categorias de Uso de Consumo de Água”, do mesmo modo que a Matriz de áreas de transição elaborada mediante as Cadeias de Markov. Todos eles serão empregados para alimentar ou construir as projeções do modelo de Autômato Celular.

De acordo com Terra e Silva (2012), o desenvolvimento do modelo de autômatos celulares está relacionado ao estado inicial (tempo  $t$ ) de um pixel e o processo de evolução do mesmo, enquanto o estado  $t+1$  está relacionado com a regra de transição que é atribuída a cada pixel.

O fundamental deste modelo é que pode representar fenômenos de variáveis que mudam em forma discreta dependendo de seu estado, e estabelecendo certas regras, entre as principais estão as de transição em cada iteração (PIDAL, 2014). Estas regras que finalmente determinarão o estado seguinte de uma célula serão determinísticas, ou seja, sabendo os estados dos vizinhos de uma célula, pode-se dizer com exatidão o seu próximo estado (TERRA; SILVA, 2012).

Assim mesmo, Soares-Filho *et al.*, (2007), acrescentam que o mecanismo de espaço dos autômatos celular está constituído por uma composição de  $n$  dimensões de células, em que o estado de cada célula depende de seu estado prévio e de um conjunto de regras de transição, de acordo com um arranjo específico de uma certa vizinhança, sendo todas as células atualizadas simultaneamente a passos discretos de tempo.

Na análise da dinâmica urbana, o modelo de autômatos celulares é tratado como um sistema que cumpre com cinco elementos básicos (WHITE *et al.*, 1999):

1. Espaço euclidiano (representado pelos pixels);
2. Tempo (representado pelas iterações do processo, com todos os estados celulares atualizados simultaneamente);
3. Estado (representados por números discretos, atributos únicos por cada célula);
4. Vizinhança (representa a região em que se localiza a célula autômato) e;
5. As regras de transição (comportamento das células em cada instante de tempo).



Além disso, importante evidenciar que as cadeias de Markov descrevem e projetam quantitativamente os modelos dinâmicos dos Usos das Categorias de Consumo, mas ele não relaciona a célula com a sua vizinhança no espaço, é por isso que foi utilizado o modelo de autômato celular, para relacionar e especializar as células quantificadas (TERRA; SILVA, 2012; BEHERA *et al.*, 2012).

O modelo de autômatos celulares será aplicado por meio do *software* Idrisi Selva 17.0, através do módulo *CA\_MARKOV*, empregando um filtro contínuo baseado nas regras de vizinhança de Von Newman. Este procedimento realizado com o módulo *CA\_MARKOV*, como já foi mencionado anteriormente, combina autômato celular e as previsões de mudanças de Markov da superfície de análises, além disso, é complementado por um elemento de contiguidade espacial, como também a consideração sobre a distribuição espacial provável das transições a análises de mudanças de Markov.

O que significa que, o módulo de *CA\_MARKOV* do Idrisi utiliza como dados de entrada ao sistema de algoritmos as seguintes informações (EASTMAN, 2012):

1. Mapa Raster (em um tempo  $t_1$ ) de cobertura terrestre das categorias de usos de consumo de água, no qual se projetaram as mudanças a um tempo  $t_2$ .
2. Matriz (formato *.txt*) de Áreas de transição produzida pelo módulo de *MARKOV* com os mapas de cobertura terrestre (em um tempo  $t_0$  e  $t_1$ , com uma projeção das imagens a um período  $t_2$ ) das categorias de usos de consumo de água.
3. Coleção dos mapas Raster (mapas de aptidão) gerados pela análise multicritério por meio do módulo *MCE* do Idrisi, onde cada mapa da conta de uma Classe ou Categoria de Uso de Consumo, e representa a probabilidade do território de mudar para a Categoria de Uso de Consumo de Água que se esta analisando.
4. Número de iterações (períodos de tempo) entre o início e o fim da projeção, este valor é baseada no número de intervalos de tempo definidos anteriormente e pode ser definido em anos, meses, dias, etc. O intervalo que vai desde  $t_1$  e  $t_2$ , sendo  $t_2$  o mapa de cobertura terrestre das Categorias de Usos de Consumo de Água projetado ou simulado por o módulo *CA\_MARKOV* (imagem raster *output*).
5. Filtro de contiguidade para autômatos celulares: o filtro a ser utilizado para lograr as restrições de contigüidade, é um filtro

continuo baseado nas regras de vizinhança de Von Newman, apresentado como filtro de contiguidade do autômato celular *Standard 5x5*, do tipo filtro de Kernel (Figura 25), que tem por objetivo adequar os pixels segundo a inerência às classes existentes.

Figura 25 - Regras de vizinhanças de Von Newman, filtro de Kernel.

		1		
	1	1	1	
1	1	1	1	1
	1	1	1	
		1		

Fonte: O autor (2016).

Estes tipos de filtros têm por finalidade criar uma nova imagem na qual o valor de cada pixel é baseado no seu valor e dos seus vizinhos imediatos da imagem de entrada. O que significa que o valor que adotará o pixel dependerá da quantidade de vizinhança envolvida, ou seja, o tamanho do filtro, podendo ser de  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$  ou de dimensões variáveis.

Segundo Scarassatti (2007), o filtro de autômato celular desenvolverá um fator de ponderação espacialmente explícito para cada mapa de aptidão de cada categoria de usos do consumo de água, ponderando mais intensamente em áreas com uso do consumo existentes, assegurando que a mudança ocorra próxima a classes de uso do Consumo, funcionando como uma máscara, multiplicando esse resultado para um mapa de aptidão para derivar um novo mapa de adequação como *input*, e assim para cada período de iteração. Sendo o resultado final desses processos de filtrado, multiplicação, iteração do módulo do Autômato Celular uma imagem (mapa) que contempla a mudança de classe de uso do consumo de água ou um processo de crescimento em áreas com maior aptidão próximas às áreas de um determinado uso já existente.

### 3.2.7 Validação do modelo

Nesta última etapa se pretende avaliar os resultados de simulação do primeiro cenário projetado do modelo de autômato celular, que foram auxiliados pelos métodos de Cadeia de Markov, Avaliação Multicritério, Processo de Jerarquia Analítica, Lógica Difusa, entre outros, ao longo de todo o processo de análise para obtenção das projeções de crescimento e mudanças das categorias de Usos de Consumo do serviço básico de Água na área de estudo. Esta avaliação, responde a um modelo de validação que é baseado na comparação do mapa projetado para a data “ $t_2$ ” e o mapa de referência (conhecido) da mesma data “ $t_2$ ”, a partir do Índice Kappa, para obter uma porcentagem de concordância entre eles, para assim validar a qualidade do modelo.

Para a validação dos resultados espaciais de forma estruturada, existem diversos métodos de comparação, incluindo a previsão de concordância e discordância entre o mapa de previsão e o mapa de referência. Nesse sentido, o critério mais utilizado para a validação de modelos de mudanças de categorias de Usos é baseada na porcentagem de pixels classificados corretamente obtidos a partir da comparação de um mapa real em relação ao resultado do modelo projetado. No entanto, ter um número elevado de pixels classificados corretamente não significa que o modelo tenha um adequado poder preditivo, devido à auto-correlação temporal, quer dizer, que também se deve avaliar a qualidade do pixel com relação à localização dessas mudanças (CABRAL; ZAMYATIN, 2006).

O coeficiente Kappa da proporção de concordância em escalas nominais entre dois elementos comparados fornece uma noção do quanto as observações se afastam daquelas esperadas, dando assim uma medida de confiabilidade das interpretações (COHEN, 1960).

Segundo Pontius e Millones (2011), a medição da correta proporção dos mapas é simples de calcular, fácil de entender e útil para interpretar. No entanto, tornou-se habitual na literatura de sensoriamento remoto para relatar a correta proporcionalidade, utilizar o índice de concordância Kappa, especialmente para efeitos de avaliação da precisão, devido a que ele compara a eficácia de dados aleatórios. A comparação dos mapas que mostram um conjunto de categorias com o análise de Kappa converteu-se um componente padrão da maioria das avaliações da exatidão. A aleatoriedade de dados não é uma opção lógica para mapeamento, além disso, vários índices Kappa sofrem de erros teoricamente básicos, pelo que é recomendável que a discordância

de quantidade e de localização seja utilizada para avaliar a eficácia, ao invés da estatística Kappa (SANTOS, 2014).

O índice de concordância Kappa se define na Equação (3.12):

$$Kappa = \frac{(P_o - P_c)}{(P_p - P_c)} \quad (3.12)$$

Segundo (PONTIUS, 2000),  $P_o$  é a proporção correta observada,  $P_c$  é a proporção correta esperada devido à casualidade (aleatoriedade) y  $P_p$  é a proporção correta quando a classificação é perfeita. O Valor de kappa igual a 1 indica um modelo perfeito (perfeita concordância); se a proporção correta observada é maior do que a proporção correta esperada devido à casualidade, então  $Kappa > 0$ ; se proporção correta observada é igual a proporção correta esperada devido à casualidade,  $Kappa = 0$ , ou seja, a predição do modelo é equivalente à casualidade; e se proporção correta observada é inferior a proporção correta esperada devido à casualidade, então  $Kappa < 0$ .

O índice da Equação (3.12), também denominado “*Kappa Index Agreement*” ( $K_{standar}$ ) junto com a porcentagem da relação de pixels classificados corretamente “*Percent correct*” ( $\%_{Correct}$ ), com relação ao do mapa de referência, são de grande utilidade, mas não são suficientes para comparar dois mapas, devido a que falham na avaliação de padrões, quantidades e localização de mudanças, é por isso que é conveniente dividir o calculo em diferentes índices especiais de Kappa com sua respectiva estatística associada (PONTIUS, 2000; PONTIUS; MILLONES, 2011; DOLE, 2012; PIDAL, 2014):

- *Kappa standard* ( $K_{standar}$ ): mede o grau de semelhança ou concordância entre um mapa de referência e um mapa modelo. Como já foi mencionado, este Índice deve utilizar-se com muito cuidado porque pode dar medida errônea da bondade de ajuste entre as imagens.
- *Percent correct* ( $\%_{Correct}$ ): é uma relação simples entre o número de pixels classificados corretamente no modelo e o número de pixels do mapa de referência.
- *Kappa for no information* ( $K_{no}$ ): é uma variante do  $K_{standar}$ , mede o acerto de uma simulação dividida entre o máximo possível atribuível a uma simulação perfeita. Este índice é idôneo ao medir a bondade de ajuste de uma imagem comparada com outra, indica a concordância total em termos de quantidade e ubiquação.

- *Kappa for location* ( $K_{loc}$ ): mede o sucesso que tem uma simulação de especificar a correta localização das células do mapa de referência. O que significa que indica a habilidade do modelo para prever a localização das mudanças.
- *Kappa for location strata* ( $K_{locationStrata}$ ): indica quão bem as células da grade estão localizados dentro dos estratos ou categorias de usos.
- *Kappa for quantity* ( $K_{quantity}$ ): mede o sucesso devido à capacidade da simulação em razão do máximo sucesso possível de células perfeitamente simuladas.

Com relação à aplicação do Índice Kappa, o programa Idrisi, fornece do módulo *VALIDATE*, que calcula os diferentes índices de Kappa com a estatística associada antes descrita.

O comando *VALIDATE*, emprega como dados de entrada (*input*) um mapa de referência (imagem), um mapa de comparação (imagem) e uma máscara de restrições booleana (área excluída da análise), desse modo, se calculará e obterá como resultado as medidas que indicam os erros de quantidade e erros de localização entre os dois mapas.

De acordo com Santos (2014), estes erros, como o de discordância de quantidade, ocorrem quando a quantidade de células de uma classe no mapa simulado é diferente da quantidade de células da mesma classe do mapa de referência. Assim mesmo, os erros de discordância de localização, que ocorrem quando a localização de células de uma classe no mapa simulado é diferente da localização de células dessa classe no mapa de referência.

Eastman (2012) acrescenta que o módulo *VALIDATE*, fornece uma análise comparativa sobre a base do índice de concordância Kappa, que de fato é uma declaração de exatidão proporcional, ajustada para o acordo de oportunidade. No entanto, a diferença da estatística Kappa tradicional, *VALIDATE* separa a validação em vários componentes, cada um com sua estatística associada ( $K_{standar}$ ,  $\%Correct$ ,  $K_{no}$ ,  $K_{loc}$ ,  $K_{locationStrata}$  e  $K_{quantity}$ ).

Na análise do índice Kappa global, Landis e Koch (1977), determinam um intervalo de qualidade associada aos valores do índice Kappa. Apesar de que estas divisões ou categorias são claramente arbitrárias, igualmente eles fornecem um útil ponto de referência para qualificar a classificação das imagens (tabela 3):

Tabela 3 - Qualidade da classificação associada ao coeficiente Kappa.

<b>Coeficiente Kappa</b>	<b>Interpretação (qualidade)</b>
< 0,00	Péssima
0,01 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito boa
0,81 - 1,00	Excelente

Fonte: Adaptação de Barros (2012).

Os valores resultantes calculados no processo de validação do modelo de predição das Categorias de Usos de Consumo, contrastando os mapas de “simulação x real” ( $t_{2 \text{ simul.}} \times t_{2 \text{ real.}}$ ), leva à conclusão de aceitar ou rejeitar o modelo elaborado. Isto é, a aceitação do modelo faz com que o cálculo continue com o processamento dos cenários (por meio de *CA\_MARKOV*) para um tempo  $t_3$  e  $t_4$ .

No caso de resultar desfavorável os coeficientes Kappa, se efetua a rejeição do modelo, o que leva a analisar novamente cada etapa do processo de modelagem, começando pela variável dependente, nosso caso foi as “Categorias de Consumo de Água”, os mapas gerados desta variável podem adotar diferentes resoluções de imagem, diversos configurações de intervalos de classes de Usos de Consumo, outra proporcionalidade de erro no *MARKOV*, etc. Todas estas opções permitem ser ajustadas novamente para melhor o modelo preditivo.

Com relação às variáveis independentes ou determinantes das mudanças, as possibilidades de ajuste são muito maiores, o que inclui mudanças em todas as etapas desde a escolha da variável até a coleção de mapas de aptidão para cada Categoria de Consumo. O que significa que podemos mudar ou ajustar a qualidade das variáveis para representar o fenômeno dinâmico, a distribuição e ordem dos pesos de cada variável, a relação entre elos, como também a intervenção dos mapas booleanos nos diferentes mapas de Aptidão criados para cada categoria de consumo. Todas estas variável, além de cumprir com aptidões propostas para cada um dos algoritmos envolvidos, podem ser ajustados dentro das margens do permitido, é por isto que o modelo de Cadeia de Markov Autômato Celular gera resultados em consonância

com a realidade, porque permite ao usuário interagir em cada etapa do processo.

Por último, na etapa de *CA\_MARKOV*, onde se juntam as variáveis dependentes (matriz de Markov de áreas de transição) e as independentes (grupo de imagens de probabilidade de transição), o processo permite ajustes no filtro de vizinhança, o que foi antes descrito e permite melhorar a acurácia das simulações.

Todos os mapas e valores apresentados na aplicação do modelo são os resultados finais testados no processo de validação. O que significa que o processo foi repetido até atingir um índice de similaridade razoável entre o uso real de consumo dos lotes e o cenário simulado. Após da validação do modelo foi feita a simulação para os tempos  $t_3$  (2020),  $t_4$  (2025) e  $t_5$  (2030).





## **4    ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1    CARACTERÍSTICAS GERAIS DA CIDADE DE JOINVILLE**

A área de estudo está localizada em um bairro da periferia urbana no município de Joinville, no Estado de Santa Catarina, Brasil (Figura 26).

A escolha da área de estudo foi baseada em procurar um setor da zona urbana de Joinville que contém primeiramente com informações dos diferentes cadastros estudados, também se considerou um setor que apresente uma dinâmica de expansão urbana, localizada na periferia urbana do município. Outro aspecto que motivou à escolha do bairro Vila Nova para a pesquisa é malha viária com que conta, mostrando uma via principal no bairro, uma escassa acessibilidade alternativa à maioria dos lotes e limitadas vias paralelas ao eixo principal.

#### **4.1.1    Localização**

Joinville está localizada na região Sul do País, no nordeste do estado de Santa Catarina (Mesorregião: Nordeste catarinense), fazendo divisa com Jaraguá do Sul a oeste, São Francisco do Sul ao leste, Campo Alegre e Garuva ao norte e Araquari, Guaramirim e Schroeder ao sul (Figura 26). A cidade situa-se entre as coordenadas geográficas de latitude: 26°04'S a 26°26'S e de longitude: 48°44'W a 49°11'W.

A cidade encontra-se atravessada pelo o rio Cachoeira, de grande importância nos antecedentes históricos do município, que desemboca na Baía da Babitonga. A área que ladeia o rio Cachoeira é praticamente toda urbanizada. Entretanto, ainda há grandes extensões de áreas de manguezais e muitas delas ainda preservadas (JUNQUEIRA, 2010).



#### 4.1.2 História de Joinville

Joinville foi fundada em 9 de março de 1851, com a chegada dos primeiros imigrantes da Alemanha, Suíça e Noruega, a bordo da barca Colon. A nova terra foi denominada Colônia Dona Francisca, em homenagem à princesa Francisca Carolina, filha de D. Pedro I e herdeira de uma área de 25 léguas quadradas. As terras faziam parte do dote de casamento da princesa com o príncipe François Ferdinand Phillipe Louis Marie, de Joinville, cidade situada na França (BRASIL, 2014).

A chegada dos imigrantes à região foi possível depois do príncipe ceder, em 1849, oito léguas de área para a Sociedade Colonizadora Hamburguesa, de propriedade do senador Christian Mathias Schroeder. Os primeiros colonizadores chegaram às terras brasileiras dois anos depois, juntando-se aos portugueses e indígenas já estabelecidos na região (BRASIL, 2014).

Cerca de cinco mil anos atrás as comunidades de caçadores já ocupavam a região, deixando vestígios (sambaquis, artefatos, oficinas líticas). Os povos originários ainda habitavam as cercanias quando chegaram os primeiros imigrantes. Existem registros da presença prévia de diversos grupos indígenas como os *Kaingangs*, os *Guaranis* e os *Tupis*.

Estabeleceram-se na região famílias de origem portuguesa, com seus escravos negros, vindos provavelmente da capitania de São Vicente (hoje Estado de São Paulo) e da vizinha cidade de São Francisco do Sul. Essas famílias adquiriram grandes lotes de terra (sesmarias) nas regiões do Cubatão, Bucareín, Boa Vista e Itaum, e aí passaram a cultivar mandioca, cana-de-açúcar, arroz, milho, entre outros (JOINVILLE, 2011).

No início do século XX, uma série de fatos acelerou o desenvolvimento da cidade. Foi inaugurada a Estrada de Ferro São Paulo - Rio Grande, que passava por Joinville, rumo a São Francisco do Sul. Surgia a energia elétrica, o primeiro automóvel, o primeiro telefone e o sistema de transporte coletivo (JOINVILLE, 2013).

#### 4.1.3 Aspectos físicos

De modo geral, a cidade apresenta relevo plano, fronteira com a Baía de Babitonga. Ao passo que se afasta da baía, encontram-se pequenas elevações na média de 4,5 metros.

As características físicas do município são divididas em três áreas, devido a suas diferenças significativas (JUNQUEIRA, 2010):

- a) **Região de serra:** corresponde ao planalto da Serra do Mar, associado aos morros isolados (morro do Iririú, Itinga, Boa Vista) com topografia montanhosa e densa cobertura vegetal, composta basicamente de Mata Atlântica;
- b) **Região de terrenos de cotas elevadas:** formado por depósitos de encostas retrabalhadas pela erosão, os chamados “mares de morros”;
- c) **Região de planície,** ao longo dos baixos cursos dos rios Cachoeira, Piraí, Cubatão e Pirabeiraba e nas faixas litorâneas, a leste do município. Nesta região é que se localizam as áreas com maior ocupação urbana.

O sistema hídrico tem um significado forte para o município que pertence à estrutura natural da baía da Babitonga, numa região de sistema hídrico determinante para estrutura física. Esta possui grande número de cursos d’água e áreas úmidas propícias a alagamentos devido à baixa declividade. A bacia que deságua na Baía da Babitonga tem suas nascentes localizadas na serra do mar, de alta declividade, que passam pela cidade de Joinville carregando alto teor de sedimentos (PINHEIRO JÚNIOR, 2009).

#### **4.1.4 Aspectos socioeconômicos**

A partir do Censo 2010, os dados obtidos foram publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), nos quais são destacáveis os dados de população e densidade do município (BRASIL, 2014):

- Área da unidade territorial: 1.126,106 km<sup>2</sup>.
- Densidade demográfica: 457,58 hab/km<sup>2</sup>.
- População total 2010: 515.288 hab.
- População urbana: 497.850 hab.
- População rural: 17.438 hab.
- Taxa de urbanização: 96,61%.
- População estimada 2014: 554.601 hab.

O município de Joinville quando foi fundado possuía área total de 4.601 km<sup>2</sup>, cuja densidade demográfica era de 172 hab/km<sup>2</sup>. A região de Joinville é considerada um núcleo urbano, formado por Joinville e

Araquari, municípios conurbados que formam uma única área urbana, sendo Joinville a maior cidade catarinense, considerado o terceiro pólo industrial do sul do Brasil, com um PIB de 13,2 bilhões representando 10,73% do PIB do estado em 2010 (SANTOS, 2011).

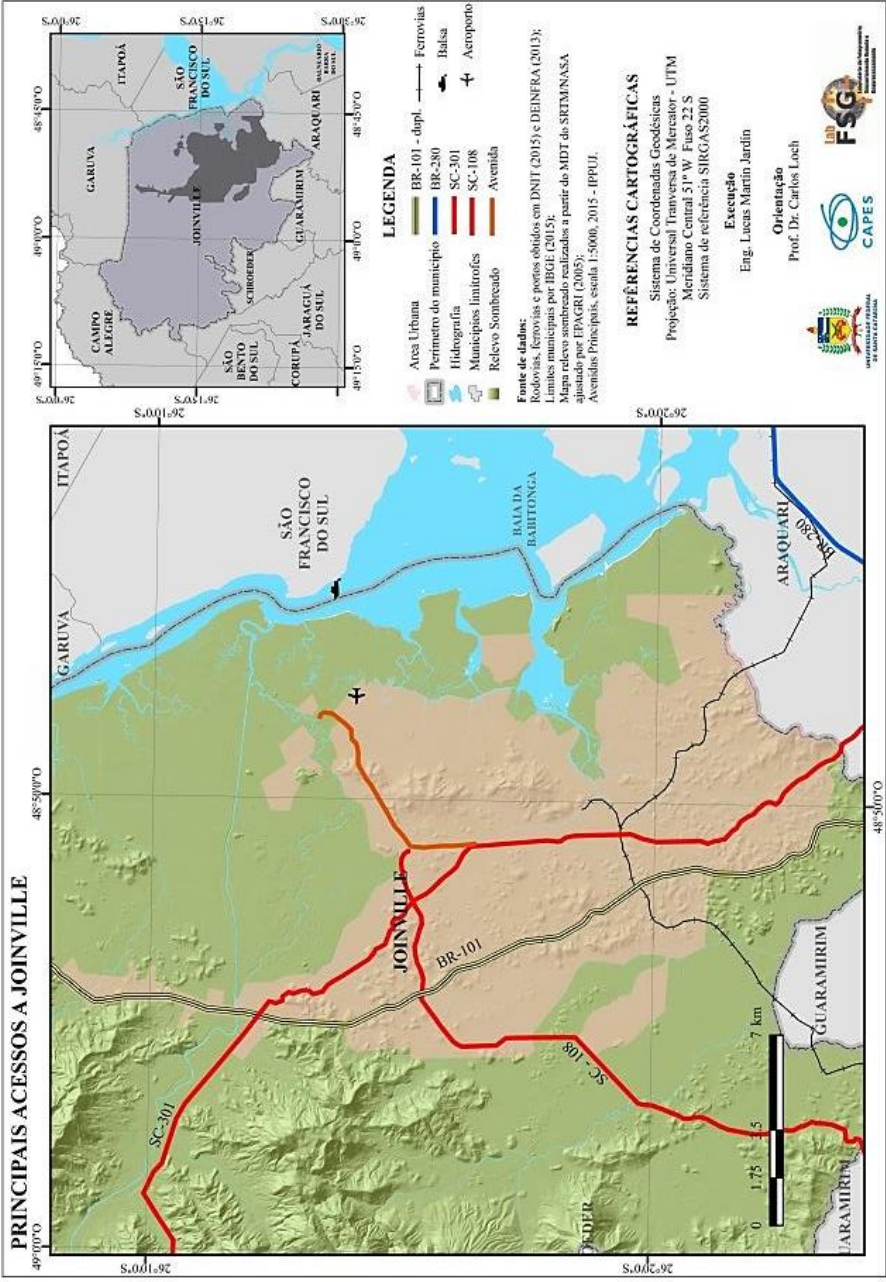
Joinville ocupa uma posição estratégica pela posição geográfica, acessibilidade e armazenagem. A cidade está próxima do porto de São Francisco, porto de Itajaí (SC), porto de Paranaguá (PR) e BR-101. A economia baseia-se no setor secundário e terciário, constituídos pelo setor industrial e de prestação de serviços. As indústrias desenvolvem atividades metal-mecânica, têxtil, plásticos, tecnologia da informação e produtos farmacêuticos (GEISSLER, 2012).

#### 4.1.5 Principais Acessos a Joinville

Joinville é ligada a outros pontos do Estado e do País pelas seguintes rodovias (JOINVILLE, 2014):

- a) **BR-101**, tangencia a oeste para a área urbana da sede municipal, direcionando-se ao Norte para Curitiba e São Paulo, e ao Sul para Itajaí, Florianópolis e Porto Alegre (Figura 27).
- b) **SC-301**, na parte **norte** tem como origem o trevo de acesso ao Distrito de Pirabeiraba, junto à BR-101, faz a ligação entre Joinville e o Planalto Norte Catarinense pelos municípios de Campo Alegre, São Bento do Sul, Mafra e Rio Negrinho. Por outra parte, na zona **sul** da SC-301 tem sua origem nos limites ao sul da área urbana do município, pela atual Rua Waldemiro José Borges, estende-se até o entroncamento da BR-280, ligando Joinville aos municípios de Araquari, Barra do Sul e São Francisco do Sul.
- c) **SC-108** liga o município de Joinville, a partir do bairro Vila Nova, ao oeste da cidade, com o município de Guaramirim, no encontro com a BR-280.
- d) **Eixo de Acesso Sul** tem origem nos limites ao Sul da área urbana do município, estende-se até o entroncamento da BR-101.

Figura 27 - Principais Acessos a Joinville.



Fonte: O autor (2016).

#### 4.1.6 Bairros e Distritos

Com a última definição da Lei Complementar nº 88, de 05 de junho de 2000, e suas respectivas emendas, a divisão política de Joinville passou a possuir 41 bairros e 2 zonas industriais, como mostra a Figura 28.

Por outra parte, em 2010, com a aprovação da Lei Complementar nº 318/2010, foi alterado o perímetro urbano de Joinville, causando neste perímetro pequenas alterações e ajustes dos limites dos bairros limítrofes (JOINVILLE, 2015b).

Bairros da Sede do Município (anexo da Figura 28):

1. Adhemar Garcia	14. Fátima	27. Nova Brasília
2. América	15. Floresta	28. Paranaguamirim
3. Anita Garibaldi	16. Glória	29. Parque Guaraní
4. Atiradores	17. Guanabara	30. Petrópolis
5. Aventureiro	18. Iririú	31. Profipo
6. Boa Vista	19. Itaum	32. Ulysses
7. Boehmerwald	20. Itinga	Guimarães
8. Bom Retiro	21. Jardim Iririú	33. Ságuaçu
9. Bucarein	22. Jardim Paraíso	34. Santa Catarina
10. Centro	23. Jardim Sofia	35. Santo Antônio
11. Comasa	24. Jarivatuba	36. São Marcos
12. Costa e Silva	25. João Costa	37. Vila Cubatão
13. Espinheiros	26. Morro do Meio	38. Vila Nova

A - Bairros Distrito de Pirabeiraba:

A1 - Centro

A2 - Dona Francisca

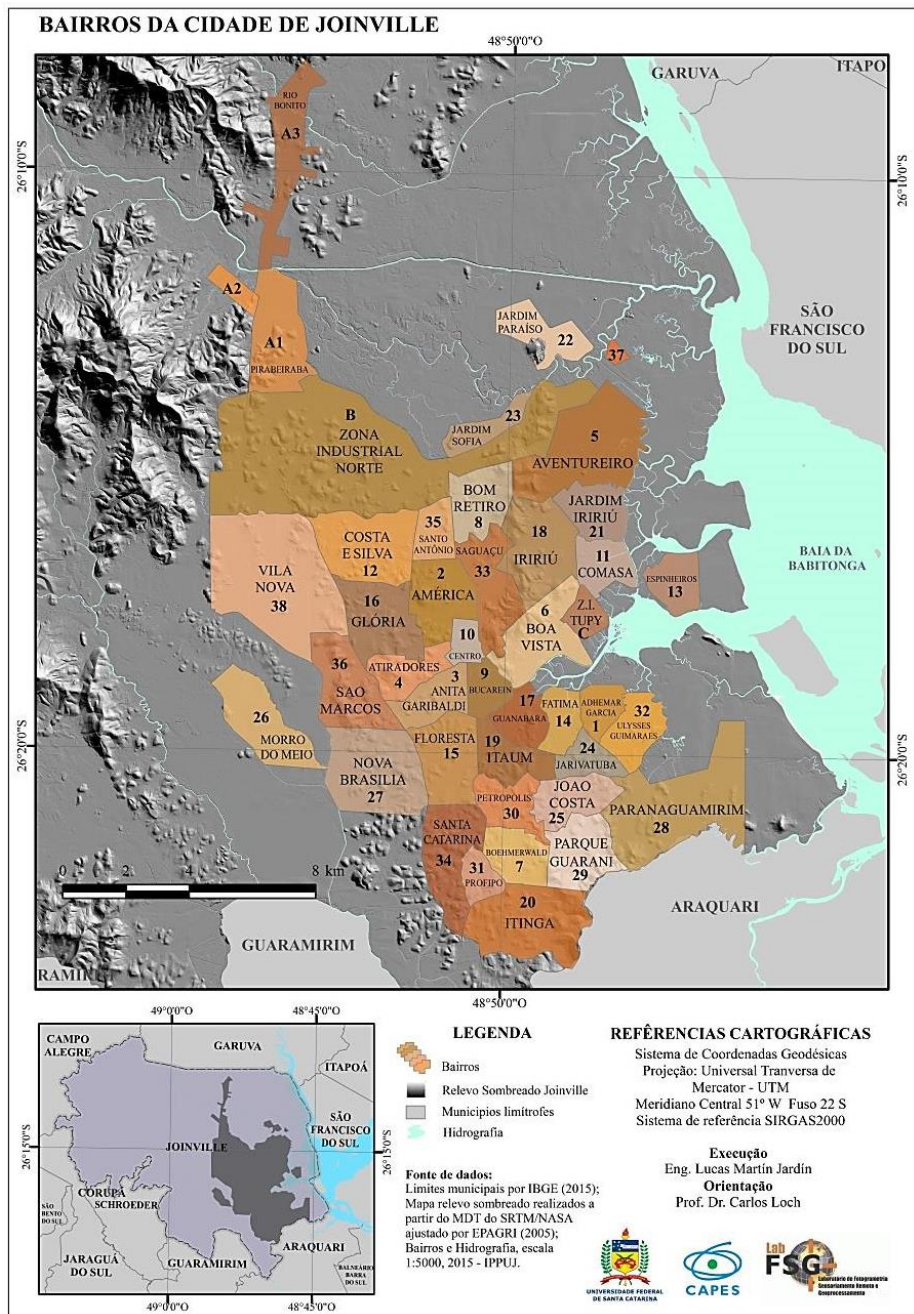
A3 - Rio Bonito

B - Zona Industrial Norte

C - Zona Industrial Tupy



Figura 28 - Bairros de Joinville.



Fonte: O autor (2016).

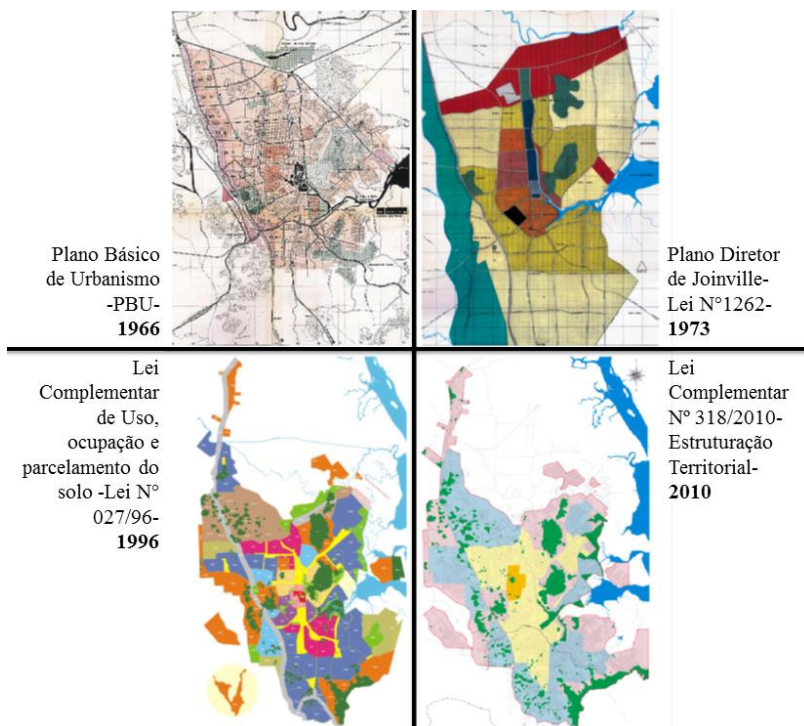


## 4.2 CRESCIMENTO E EVOLUÇÃO URBANA

### 4.2.1 Síntese do Planejamento Urbano de Joinville ao longo do tempo

A partir do Plano Básico Urbanístico - PBU, de 1965 começaram os estudos e iniciativas para um ordenamento territorial e planejamento urbano em Joinville por meio da Lei N°795/1966, que estabeleceu um plano de uso do solo e traçou as diretrizes a serem observadas na elaboração do plano diretor de Joinville (JOINVILLE, 2015b).

Figura 29 - Esquema dos Planos de Ordenamento Territorial históricos de Joinville.



Fonte: Adaptação de Joinville (2015b).

A lei N° 1262/73 de Uso e Ocupação conhecida como o Plano Diretor de 1973, continha o plano diretor do Sistema de Transporte urbano da cidade, que logo foi revogada pela Lei N° 1410/75 nas

disposições relativas ao Uso e Ocupação do Solo. No ano 1975 a lei Municipal Nº1411/75 deu origem à Zona Industrial. Logo após, com a lei Nº1828/81 se promoveu a adequação da Lei nº 1.262/73 à Lei Federal Nº 6.766/79, que determina sobre o Parcelamento do Solo Urbano nos Municípios Brasileiros. Posteriormente em 1987 com o Plano de Estruturação Urbana - PEU se abordou uma análise mais detalhada do espaço urbano, definindo diretrizes de desenvolvimento, mas este Plano não acabou se tornando Lei (JOINVILLE, 2015b).

Em 1996, essa abordagem se consolidou a lei Nº 027/96, que contou com ajuda da Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville - IPPUJ, no assessoramento do desenvolvimento municipal, nos aspectos físico-territoriais. Esta Lei dispõe sobre o uso, ocupação e parcelamento do solo, revogando a Lei Nº 1.410/75 totalmente e parcialmente a Lei Nº 1.262/73 (JOINVILLE, 2015b).

Mais recentemente, o novo Plano Diretor do município que foi aprovado com a Lei Nº261/2008, modificou L.C. Nº 027/96, elaborando o plano setorial de mobilidade e acessibilidade. Finalmente em 2010 se instituiu a Lei Complementar Nº 312/2010, que alterou a Lei Complementar Nº 027/96, que foi revisado através da Lei de Ordenamento Territorial (Lei Complementar Nº 261/2008), intitulada Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável de Joinville. A Lei de Estruturação Territorial, Lei Complementar Nº 318/2010 definiu o novo limite do Perímetro Urbano e o Macrozoneamento do Município (JOINVILLE, 2015b).

Em resumo, e conforme ao expressado por Geissler (2012), o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município de Joinville trata sobre diretrizes estratégicas, tendo sido desenvolvido com uma abordagem abrangente e considerando a Constituição Federal; Constituição do Estado de Santa Catarina; Lei Orgânica do Município; Lei Federal Nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade) e Lei Complementar Nº 027, de 27 de março de 1996 - Uso e Ocupação do Solo de Joinville e no Planejamento Estratégico de Joinville. O regime urbanístico do uso, ocupação e parcelamento do solo e limites do perímetro urbano foram alterados pela Lei Complementar Nº 027/96. Outras modificações quanto ao zoneamento do uso do solo foram lançadas pela Lei Nº 261/2008.

## 4.2.2 Evolução Urbana e Demográfica de Joinville

Como foi antes mencionado, o desenvolvimento do município, sua morfologia urbana, está diretamente ligado à indústria de metalurgia, têxtil e o comércio. Até a década de 50, havia uma população basicamente rural. A partir de 1960, houve uma evolução da população urbana que aumentou consideravelmente até a década de 80, quando houve uma queda em função da crise que abalou o país (GOUDARD, 2014).

A ocupação do território se deu em caráter disperso, e ao longo de caminhos que partiam do núcleo inicial, rumo ao traçado das atuais vias Nove de Março, XV de Novembro, Dr. João Colin e Visconde de Taunay.

É importante ressaltar a análise do PEU (Plano de Estruturação Urbana de 1987), que afirma que a expansão urbana seguiu a orientação Norte-Sul, linearmente, condicionada à existência de fortes bloqueios: a BR-101 e a Baía da Babitonga. Nos primeiros 50 anos do século XX, a malha urbana apresentava-se bastante concentrada, apoiada em um pequeno centro, em torno do qual se instalavam o comércio e a indústria (Figura 30 - mancha urbana ano 1927, 1937, 1945). Desse centro partiam as vias arteriais em direção aos bairros residenciais, cujos traçados remontam aos momentos iniciais do assentamento da Colônia, consolidando-se assim uma configuração urbana radial (JOINVILLE, 2011).

A cidade estruturou-se nos vales. A alta taxa de urbanização do município gerou implicações de expansão de áreas impermeabilizadas e problemas graves relacionados à infraestrutura no sistema de drenagem da Bacia Hidrográfica do rio Cachoeira (GEISSLER, 2012).

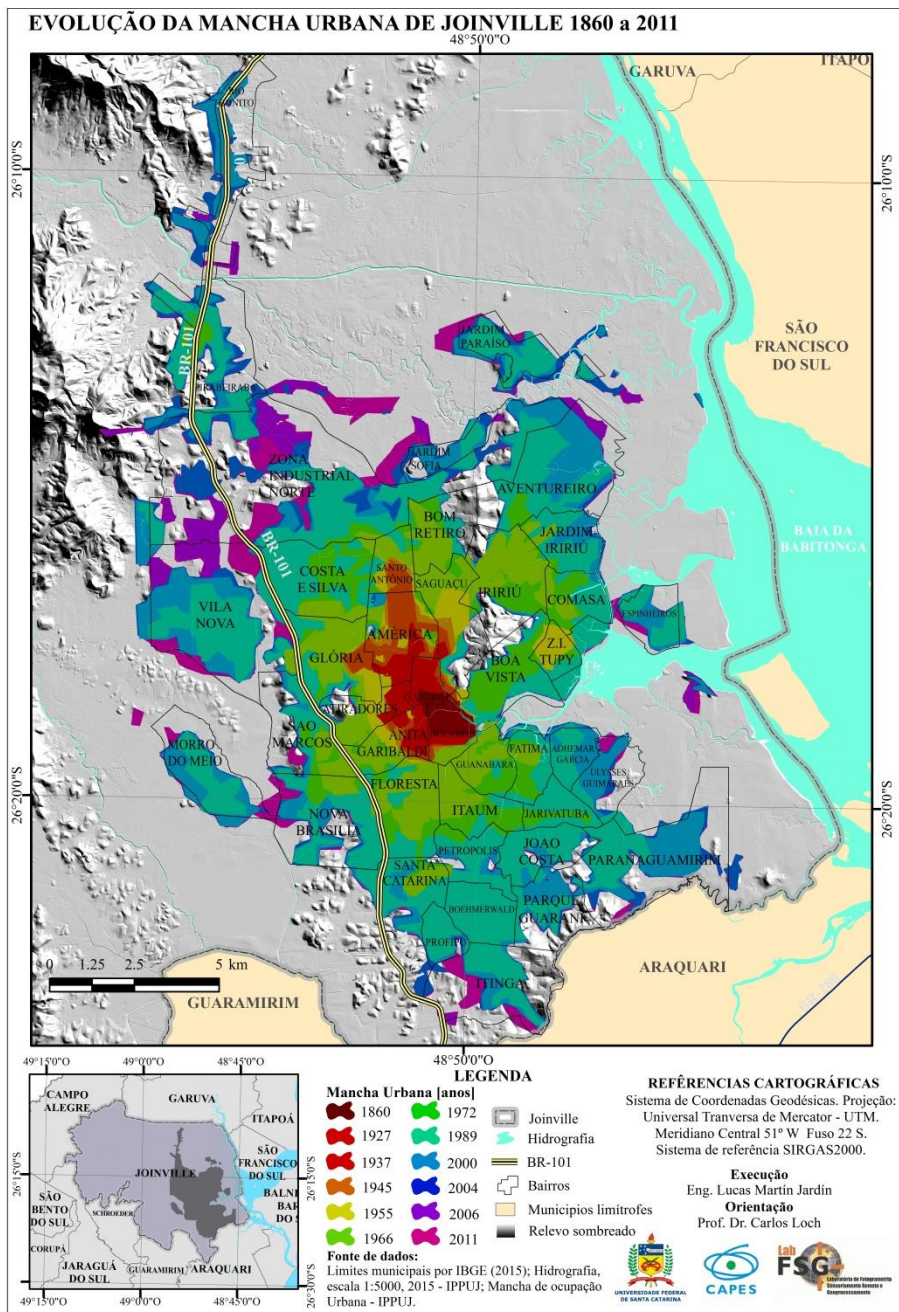
Segundo o IBGE em 1950, a cidade constituía-se basicamente da Zona Central e do bairro Bucareín (Figura 30 - mancha urbana ano 1955). Na década de 1960, a tendência já identificada de alongamento da mancha urbana para o Sul, concretiza-se com a formação do bairro Itaum (Figura 30 - mancha urbana ano 1966). Em seguida, a Sudoeste, surge o bairro Nova Brasília, e no final dessa década já acenavam duas novas zonas de ocupação: Glória e Boa Vista (Plano Básico de Urbanismo de 1965).

Na década de 1970, a Secretaria de Planejamento fez levantamentos dos novos núcleos de ocupação, como os bairros Costa e Silva, Santo Antônio, América, Ságuaçu, Iriirú e adjacências, Anita Garibaldi, Floresta e Santa Catarina, dentre outros pequenos

assentamentos no Vila Nova e em Pirabeiraba (Figura 30 - mancha urbana ano 1972). Para a década de 1990 (Figura 30 - mancha urbana ano 1989), estes bairros figuraram mais adensados junto às localidades Morro do Meio, São Marcos, Jardim Paraíso, Aventureiro, Fátima, Jarivatuba, Jardim Sofia, Espinheiros e também o Distrito Industrial, ao longo das Ruas Dona Francisca e Ruy Barbosa (JOINVILLE, 2013).

Nos últimos anos, com base em imagens digitais (Satélite Quickbird, 2004), percebeu-se um grande avanço populacional no sentido leste do município e a criação de outros núcleos de ocupação (Figura 30 - mancha urbana ano 2000). Evidencia-se a pressão da malha urbana no sentido norte (Figura 30 - mancha urbana ano 2006, 2011), em direção ao Distrito Industrial assim como zoneamento exclusivo e a extensão territorial funcionava como barreira física à sua expansão (JOINVILLE, 2013).

Figura 30 - Mapa da Evolução da Mancha Urbana ao longo do tempo em Joinville.



Fonte: O autor (2016).

No período entre 1950 e 2010 a evolução do crescimento populacional em Joinville virou de predominância rural a ter quase uma população praticamente urbana. Sendo a população urbana de Joinville em 2010 de 96,61%, enquanto a rural fica apenas com 3,39%, no qual em 1960 a população urbana somava apenas 48,11% do total de habitantes do município (GOUDARD, 2014).

Quadro 2 - Crescimento populacional em Joinville.

<b>Anos</b>	<b>Taxa Média Anual [%]</b>	<b>Início da Década [Hab]</b>	<b>Final da Década [Hab]</b>
1950 a 1960	6,07	43.334	69.677
1960 a 1970	6,04	69.677	126.095
1970 a 1980	6,45	126.095	235.812
1980 a 1991	3,54	235.812	347.151
1991 a 2000	2,21	347.151	429.604
2000 a 2010	1,69	429.604	515.288
2010 a 2014	1,86	515.288	554.601

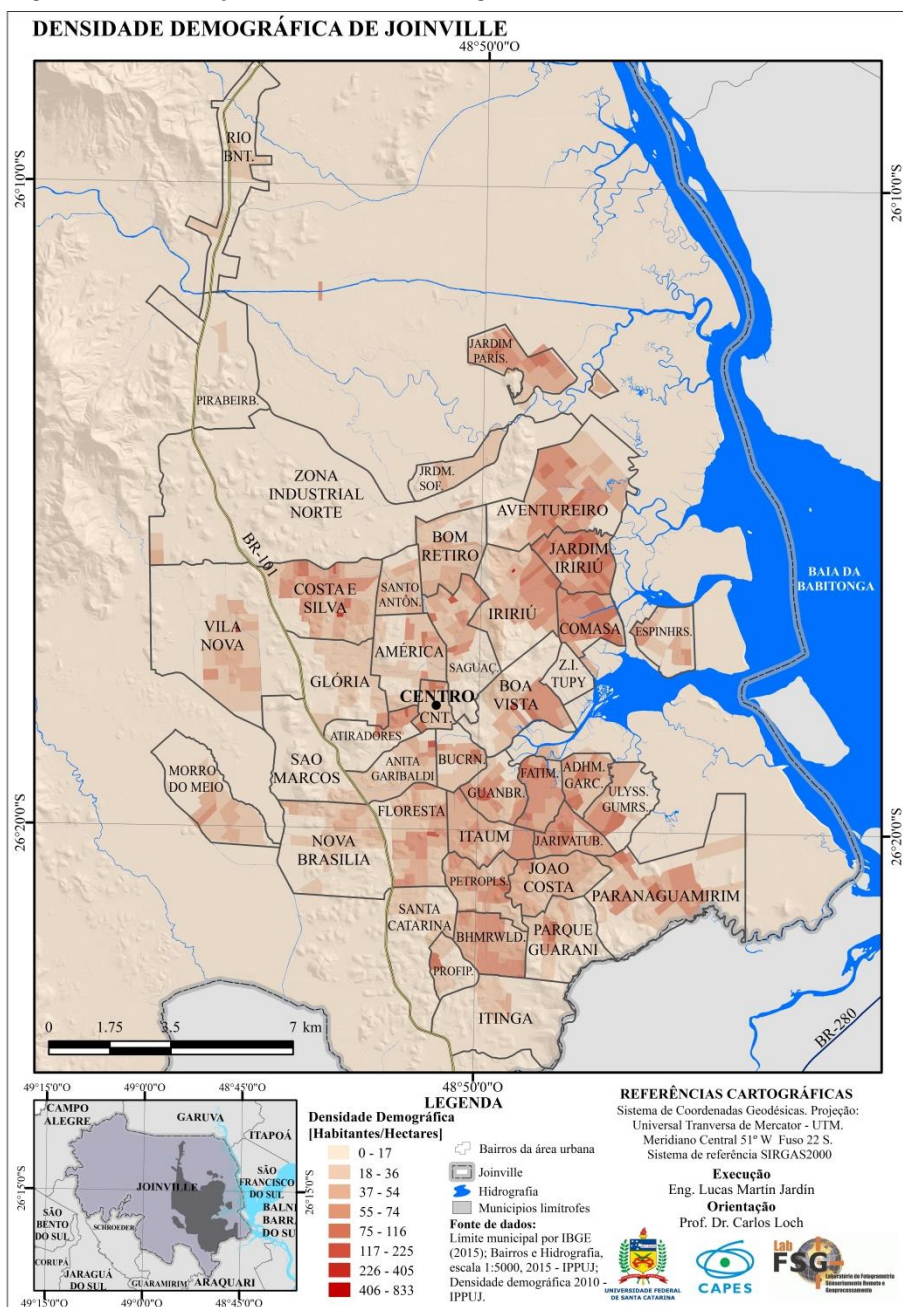
Fonte: IBGE Censos Demográficos 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 e estimativas IBGE e IPPUJ. (JOINVILLE, 2015b).

Em 1980 Joinville possuía 22 bairros, em 1991 passou a ter 34 bairros e no ano 2000, chegou a 41 bairros, sendo três deles no Distrito de Pirabeiraba, além de possuir duas zonas industriais. Mudanças na delimitação do perímetro urbano do município, bem como a criação de novos bairros no período de 1996 a 2008, resultaram na alteração de áreas e consequentemente da densidade demográfica (JOINVILLE, 2013).

A distribuição demográfica está apresentada na Figura 31, onde se consegue observar as áreas com maior quantidade de habitantes por hectare, encontrando-se setores ou quadras isoladas com grande densidade populacional, podendo-se tratar de conjuntos de condomínios ou edifícios em altura. Este é o caso que se observa no bairro Vila Nova e também no Profipo, entre outros, superfícies relativamente pequenas com uma importante quantidade de pessoas morando que não pertencem aos setores centrais da cidade, onde seria lógica uma maior densidade.



Figura 31 - Distribuição de Densidades Demográficas 2010 na área Urbana de Joinville.



Fonte: O autor (2016).

O fenômeno de adensamento também se percebe no setor nordeste da cidade, nas áreas conformadas pelos bairros Aventureiro, Jardim Iriirú e Comasa. Também se observa no setor sudeste, nos bairros Fátima, Adhemar Garcia, Ulysses Guimarães, Jarivatuba e parte do Paranaguamirim, apesar de serem assentamentos relativamente novos, consolidados na década de 1980, têm setores do bairro que são os mais adensados de Joinville (Figura 31). A situação similar de adensamento é a do bairro Jardim Paraíso, que no ano 2000 contava com 12.685 habitantes e para o ano 2013 a população no bairro chegou aos 17.824 habitantes (Fonte: IBGE), dando uma taxa média de crescimento populacional de 2,65%.

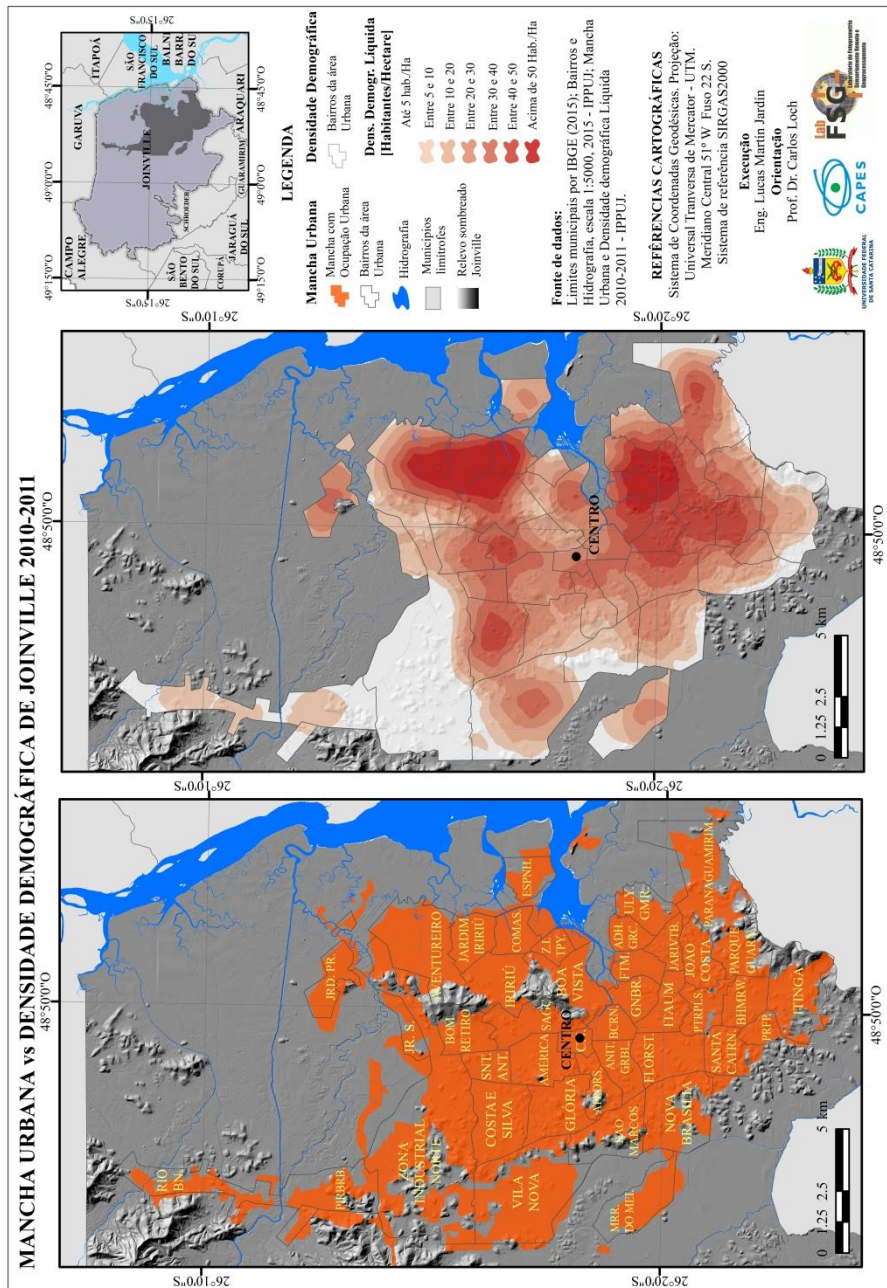
Outro caso interessante que se distingue são os bairros Centro e Bucareín, apesar de ser local dos primeiros assentamentos de Joinville no século XIX (Figura 30), no presente conta com uma densidade relativamente baixa (Figura 31) e estabilizada na projeção temporal, mostrando no caso de Bucareín uma taxa de crescimento média desde 1980 até 2013 de apenas 0,33%, no caso do Centro de 0,51%. Evidenciando claramente que o perfil destes bairros são maioritariamente de uso comercial, serviços e concentração de instituições tanto públicas como particulares.

As razões do adensamento demográfico dos bairros do nordeste e sudeste de Joinville podem ser dos mais variados, como o valor da terra, as melhoras nas vias de acesso, a legislação favorável para empreendimentos imobiliários, os investimentos na infraestrutura de transporte para acessar aos bairros ou geração de empregos novos dentro dos bairros, entre outros fatores.

Nesse sentido, podemos comparar alguns dados destes bairros da cidade para entender a características da distribuição populacional. Por exemplo, a faixa etária da população maior que 60 anos nesses bairros do nordeste é apenas de 6%. Entretanto em bairros como o Centro ou Bucareín, a população maior que 60 anos está acima dos 16%, mostrando que a população dos bairros periféricos corresponde em sua maioria à massa laboral ativa de Joinville.



Figura 32 - Mapa da mancha de ocupação urbana e a densidade demográfica líquida da área urbana de Joinville 2010-2011.



Fonte: O autor (2016).

Por sua parte a zona oeste e sudoeste da área urbana, onde estão os bairros de Vila Nova, São Marcos, Nova Brasília e Morro do meio, se mostram assentados com uma densidade mediana, mas isolados de certa forma dos restantes núcleo urbano (Figura 32), isto se deve à existência desde a década de 1960 da BR-101 que gerou um forte bloqueio da continuidade residencial e durante bastante tempo foi uma barreira da expansão urbana a essas áreas.

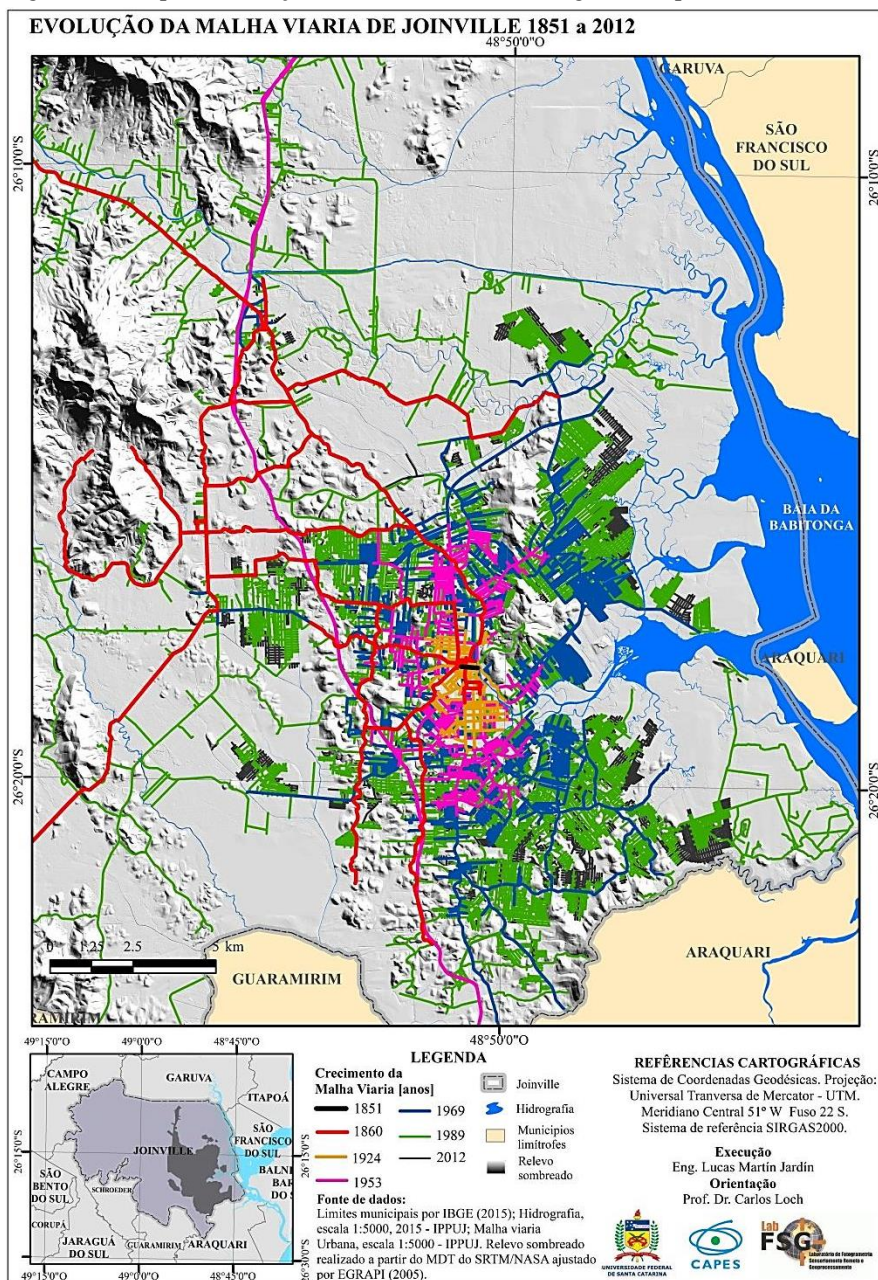
A densidade demográfica contínua (Figura 32) permite enxergar de maneira mais clara o que foi analisado anteriormente. Observam-se os focos de adensamento populacional, nordeste, sudeste, parte da zona central, e dos bairros limítrofes com a Zona Industrial Norte que junto à BR-101 e a Baía da Babitonga forjaram os limites físicos e estruturais da área urbana de Joinville. Esta pressão produzida por estas barreiras foi superada pela ocupação de novas áreas da zona sul do município e ao norte da Zona Industrial.

#### 4.3 PLANO VIÁRIO

No século XIX, nos inícios da região de Joinville, a Colônia Dona Francisca foi uns dos primeiros pontos de aglomeramento e desenvolvimento da zona. A acessibilidade aos lotes em torno à Colônia era aberta na medida em que eram comercializados pelas empresas colonizadoras da época. Esta necessidade ao acesso dos lotes, associada às características físicas e naturais locais, elevações, restingas e manguezais, acabou por configurar um sistema extremamente espontâneo, sem critérios urbanísticos quaisquer, deixando prevalecer ações da lógica do mercado.

Em 1860, dez anos após a chegada dos primeiros imigrantes, já existiam na Colônia cerca de 150 km de estradas (Figura 33), formando grandes quadras, que eram por sua vez divididas em parcelas de diferentes tamanhos, em geral com uma frente estreita e bastante profunda. Na parte urbanizada, os lotes também eram grandes, uma vez que o projeto de parcelamento visava oferecer lotes colônias. (JOINVILLE, 1987).

Figura 33 - Mapa da Evolução do Sistema Viário ao longo do tempo em Joinville.



Fonte: O autor (2016).

Entretanto na zona rural, os primeiros lotes eram distribuídos de forma espaçada, mas com o surgimento de empreendimentos agrícolas, teve início uma poli núcleos do espaço formando pequenos vilarejos. Além da residência do proprietário, havia uma aglomeração de ranchos em forma de vila para os trabalhadores. Estava configurada, embrionariamente, a maioria dos atuais bairros da cidade. Simultaneamente, ao longo dos caminhos, os colonos implantavam as residências próximas umas das outras, em geral localizadas duas a duas no mesmo lado da estrada, constituindo grupos de até quatro casas, como forma de estimular relações de parentesco e vizinhança (JOINVILLE, 1987).

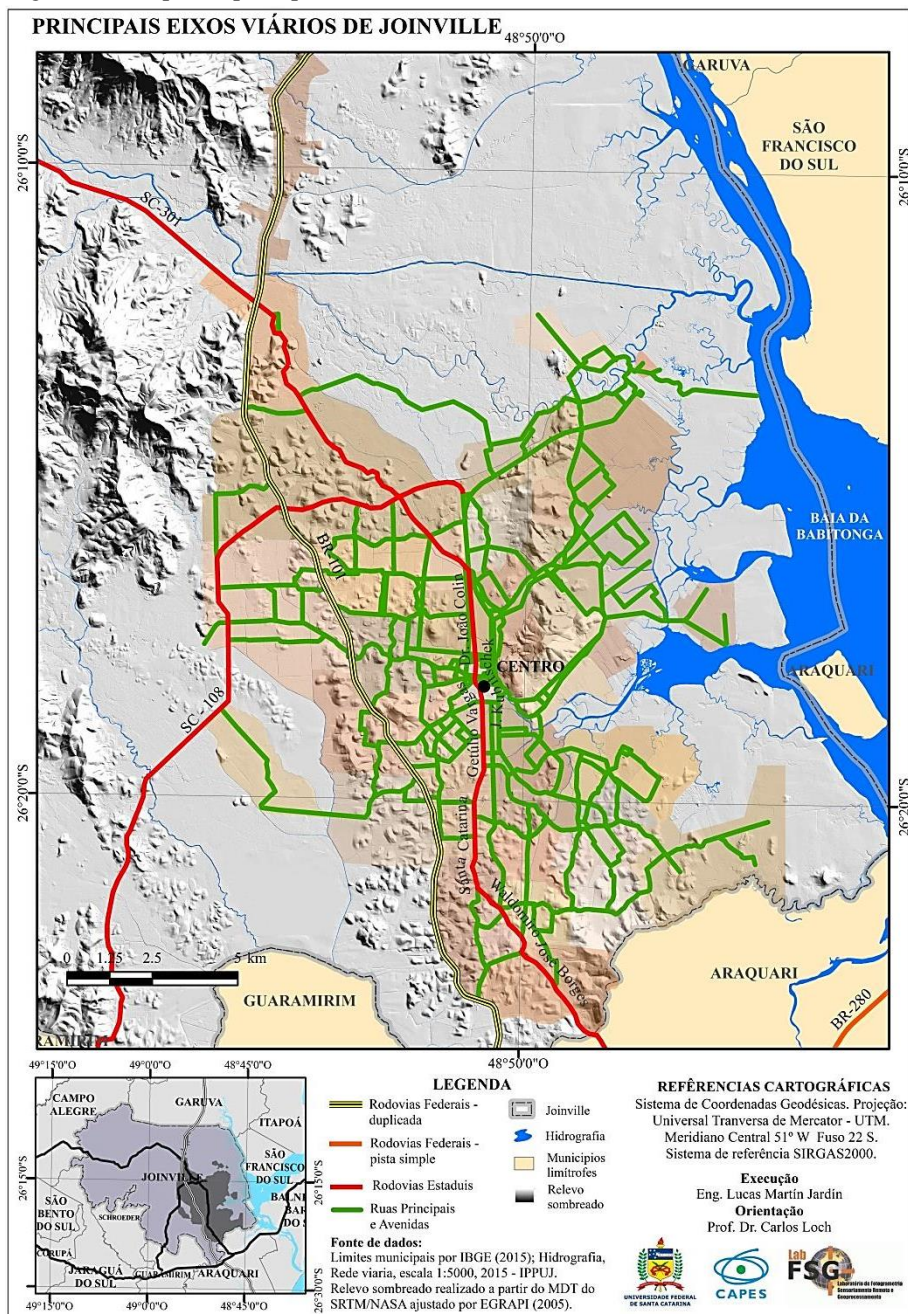
O crescimento do tecido urbano ocorreu apoiado num grande eixo viário constituído pelas Ruas Waldomiro José Borges, Santa Catarina, Getúlio Vargas, Juscelino Kubitschek e Dr. João Colin (Figura 34 - Ruas que ainda conformam o eixo das principais vias urbanas). A configuração desta estrutura, pode-se dizer decorreu do fato que toda a ligação rodoviária entre Curitiba, Florianópolis, passava pelo centro da cidade até a construção da BR-101 no início da década de 1970 (JOINVILLE, 1987).

A primeira tentativa de pensar mais ordenadamente a estrutura viária e seus sistemas foi através do Plano Básico Urbanístico, de 1965. As diretrizes viárias foram consolidadas mais tarde em 1972. A preocupação básica era reforçar a estrutura linear de crescimento no sentido Norte/Sul.

O município de Joinville instituiu o Plano Viário com a Lei Nº 1262/1973 e Lei Nº 1410/1975, estabelecendo uma malha projetada reticulada, com vias principais e secundárias, em contraponto à malha do tipo “espinha de peixe” implantada ao longo da história de Joinville. Na atualidade menos de 10% do plano foi implantado, decorrente da grande dificuldade do município em efetivar as desapropriações necessárias para execução dos eixos previstos. Por conseguinte, as vias principais projetadas e implantadas até o momento têm assumido esta posição hierárquica frente às antigas vias estruturais da cidade, sendo este fato bem verificado no objeto do projeto (JOINVILLE, 2013).



Figura 34 - Mapa das principais ruas e avenidas da área urbanizada de Joinville.



Fonte: O autor (2016).

Nesse sentido, as Diretrizes do Sistema Viário Básico do Plano Diretor do Joinville de 1973, lei N°1262, que foi determinado pelo Plano Diretor do Transporte Urbano (PLADSTU), adotou uma hierarquia de vias para o desenvolvimento da cidade, começando pelos Eixos Principais Norte-Sul, Eixos Principais de Acesso; Vias Secundárias; Vias de Expansão; Avenidas Lentas; e finalmente Ruas, Praças e Alamedas de uso preferencial ou exclusivo do pedestre, de modo que a lei determina os usos, ocupações e dimensões permitidas nos lotes contíguos das diferentes classes de vias (JOINVILLE, 1973).

Partindo do núcleo central da cidade, as vias de penetração dos bairros (Figura 34) também concentraram linearmente, as atividades de comércio e serviços, muito embora numa escala de atendimento menor e mais localizado. O fato destes usos estarem distribuídos ao longo destes eixos, fez com que não se caracterizasse a formação de núcleos de bairro, além de deixar extensas parcelas da malha urbana sem grandes ofertas de bens e serviços. Isto explica porque grandes partes das atividades são mal distribuídas, onde a linearidade não permite evoluir para a configuração de centros de bairro (JOINVILLE, 1987).

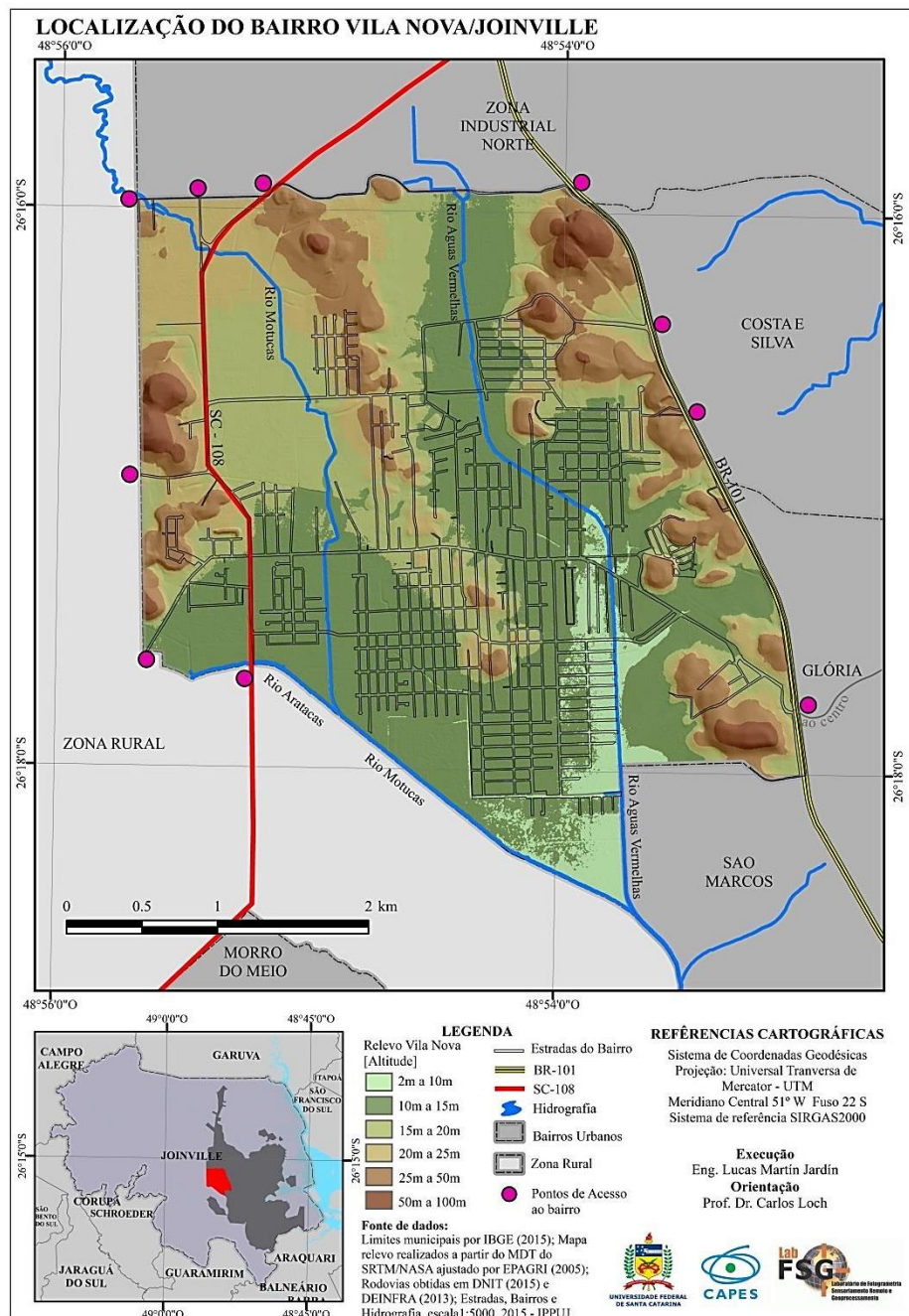
#### 4.4 BAIRRO VILA NOVA

##### 4.4.1 Localização e características

O bairro de Vila Nova foi o local onde se desenvolveu as análises, modelagem e prognósticos da pesquisa. O mesmo está situado na porção oeste da zona urbana do município de Joinville, distando 6,38km do centro da cidade, à margem da BR-101, ocupando uma área de 14,18 km<sup>2</sup>. O bairro está limitado ao norte com o distrito industrial, a leste com os bairros de Costa e Silva e Glória, na parte sudeste pelo bairro de São Marcos, e na direção sul e oeste com a zona rural do município (Figura 35).

Vila Nova existe legalmente desde 1977 (Lei N° 1.526/1977), com uma população em 2014 de 23.687 habitantes e uma densidade de 1.670 hab./km<sup>2</sup>, contando no bairro com a Unidade Administrativa, a Subprefeitura da Região Oeste (JOINVILLE, 2015).

Figura 35 - Mapa físico, acessos e morfologia urbana do bairro Vila Nova.



Fonte: O autor (2016).

O bairro possui dois rios principais que cortam o território do bairro no sentido norte-sul, o Rio Motucas situado próximo ao limite oeste do bairro e o Rio Águas Vermelhas, próximo ao limite leste do bairro, como se pode observar na Figura 35. O sistema hídrico implica em uma preocupação com a ocupação urbana próxima dos cursos d'água e rios. Essa ocupação torna as áreas frágeis e propícias à formação de alagamentos e enchentes (PINHEIRO JÚNIOR, 2009).

O relevo do bairro é praticamente plano, só em alguns trechos próximos a BR-101 e ao norte do bairro são os mais elevados (Figura 35). Contudo, a grande parte da população e a centralidade das atividades urbanas se localizam nas áreas planas, em torno às ruas principais, destacando-se o ponto com maior movimentação comercial, veicular e pedestre, onde está o Terminal de ônibus “Estação da Cidadania Vila Nova” (Professor Beno Sebastião Harger) sobre a Rua XV de Novembro, tal como mostra a Figura 36.

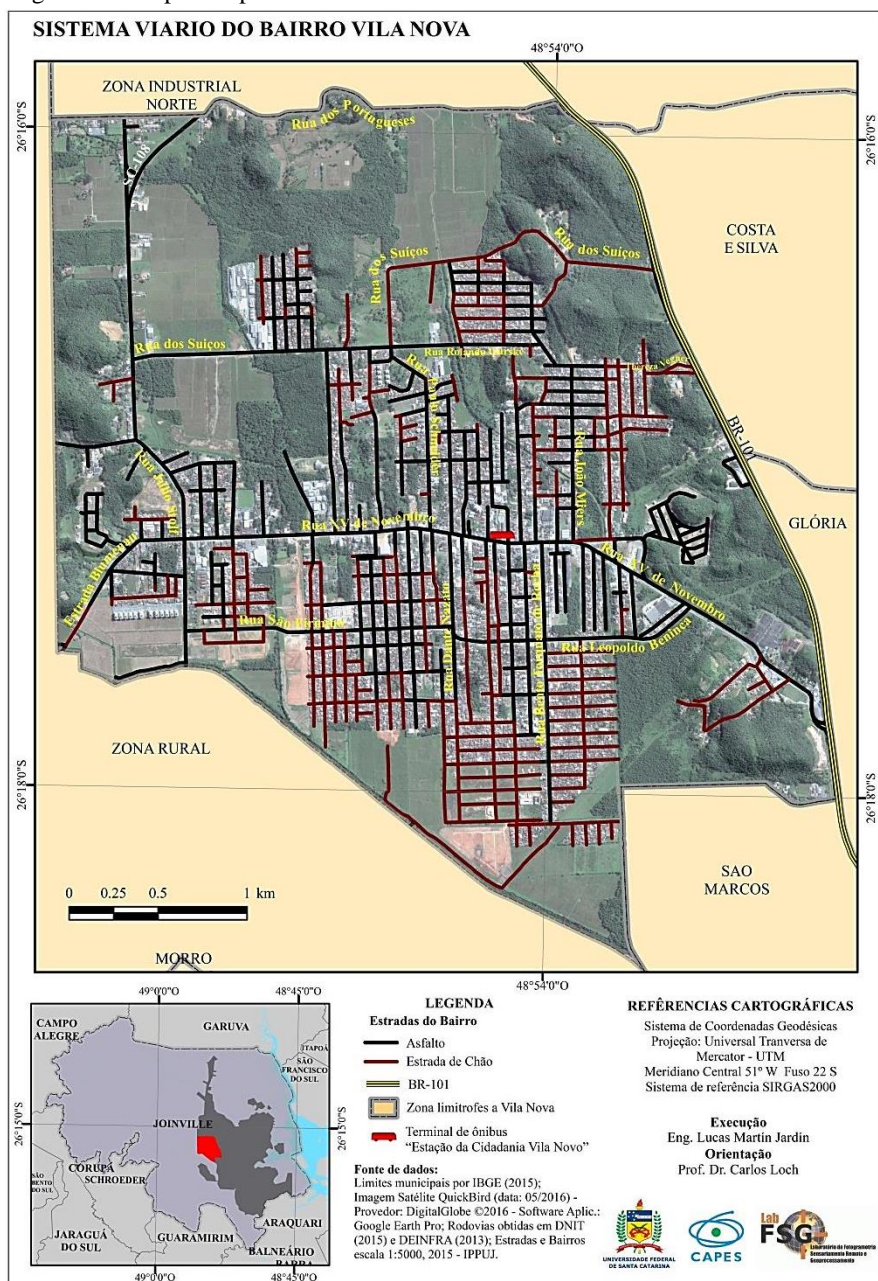
O sistema viário do bairro atualmente está constituído pelas Ruas Principais, Rua XV de Novembro, Rua Leopoldo Beninca e Rua São Firmino. Existe o eixo principal de movimentação do tráfego no bairro na direção Leste-Oeste (sistema Binário), onde a Rua XV de novembro é a principal ligação com o centro da cidade. Além disso, as Ruas João Miers e Paulo Schneider são as principais ligações com o setor norte do bairro, por sua vez, as Ruas Bento Torquato de Rocha e Dante Nazato são do setor sul. Importante salientar a rodovia SC-108 que atravessa o bairro de sul a norte que liga o bairro com a Zona Industrial Norte (Figura 36).

#### **4.4.2 Evolução do bairro**

A localidade era conhecida antigamente por Neudorf (traduzido do Alemão como “Vila Nova”), mas por volta de 1940 passou a denominar-se Vila Nova, com raízes nos primórdios da colonização de Joinville, em razão da necessidade de se estender os limites da antiga colônia que ligasse a serra, fato que traria importantes resultados à Colônia, pois a ligaria à cidade de Curitiba (JOINVILLE, 2015).



Figura 36 - Mapa do tipo da malha viária e centralidade das atividades do bairro.



Fonte: O autor (2016).

No começo, a população estava voltada às atividades agropastoris que eram vendidas na condição de produção excedente para a cidade. Entre as décadas de 1920 e 1930 as estradas que ligavam o centro ao bairro eram de péssima conservação (Figura 37). A energia elétrica começou a ser ofertada a partir da década de 1930. A rede de água tratada chegava ao bairro em meados da década de 1960 e o transporte coletivo na década de 1970 (JOINVILLE, 2015).

No Quadro 3 se pode observar a evolução da população no bairro desde 1980, onde a população sofreu um aumento quase 1000% em 34 anos. O Quadro mostra também uma queda na taxa de crescimento, revelando uma diminuição do ritmo de crescimento populacional do bairro, estacionaridade que pode estar associada a fatores de índole micro como macro regional.

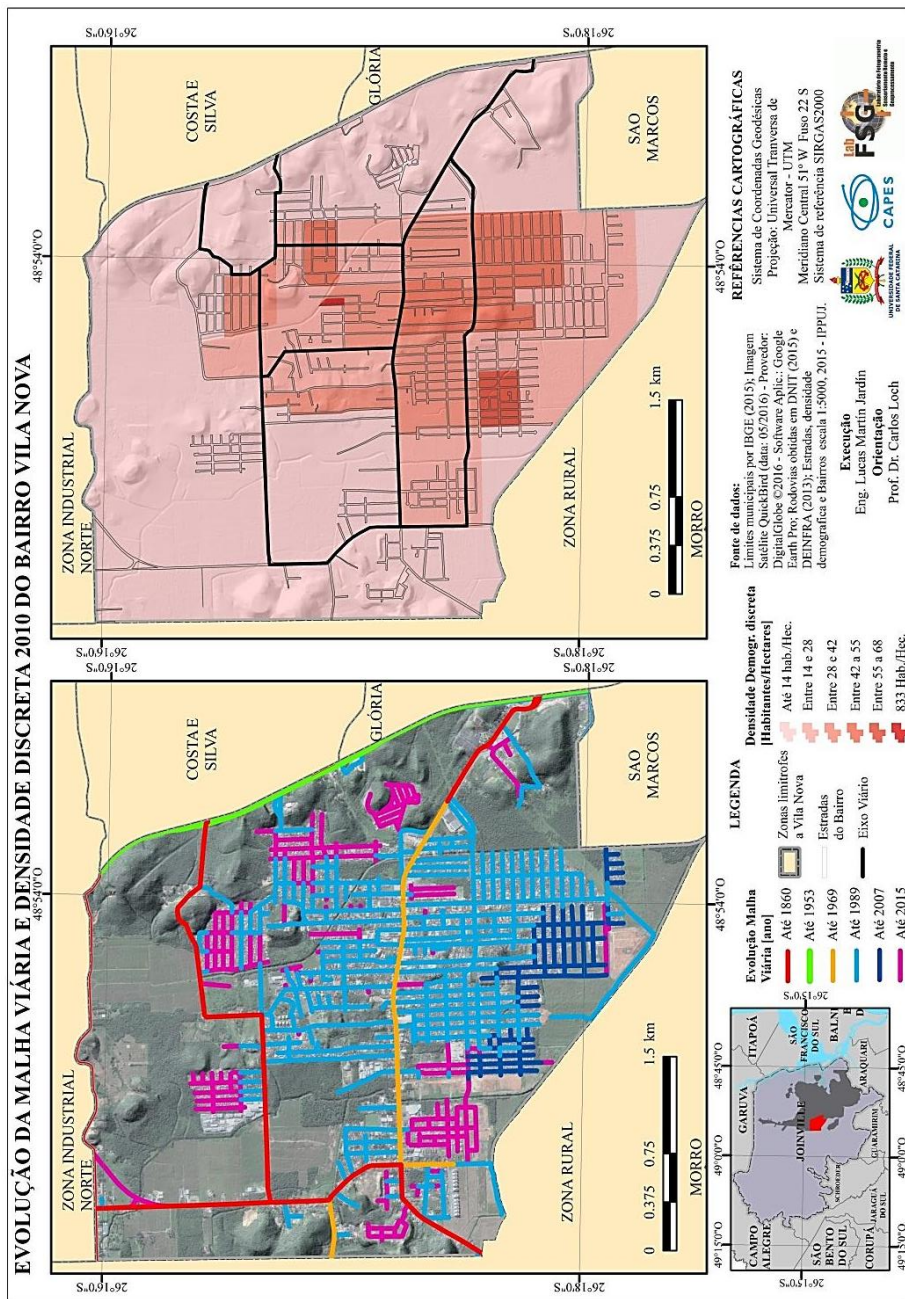
Quadro 3 - População do Bairro Vila Nova, Joinville.

<b>População estável de Vila Nova [Habitantes]</b>					
Ano	1980	1991	2000	2010	2014
População	<b>2.437</b>	<b>8.883</b>	<b>15.695</b>	<b>22.008</b>	<b>23.687</b>
Taxa Média Anual de Crescimento [%]	-	12,48	6,52	3,44	1,86

Fonte: IBGE (2010) e IPPUJ (2014).

Com relação ao crescimento da malha viária, na Figura 37, exibe-se a ampliação da atual Rua XV de Novembro em 1969, que serviu como eixo fundacional das futuras expansões viárias, como se mostra no desenvolvimento viário de 1989, consolidando nesses locais a ocupação urbana que está refletida no mapa da densidade demográfica do ano 2010.

Figura 37 - Mapa da evolução da Malha Viária ao contrastado com a distribuição da densidade demográfica do ano 2010.



Fonte: O autor (2016).

#### 4.4.3 Ocupação Urbana

No trabalho realizado por Pinheiro Júnior (2009), foi representada a expansão urbana ocorrida no bairro Vila Nova entre os períodos de 1989 e 2007, mediante os levantamentos aerofotogramétricos com as mesmas datas, onde se definiu através da reclassificação das imagens a delimitação da ocupação urbana e as modificações ocorridas na realidade física da paisagem. É apresentado alguns padrões da antropização que ocorreu nesse período de tempo no bairro (Figura 38).

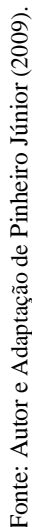
Seguindo a análise de Pinheiro Júnior (2009), no ano 1989, apresenta-se uma ocupação urbana concentrada na parte sul do bairro (FIGURA 38), no entorno da rua XV de novembro, tendo áreas mais aglomeradas ao longo do trecho. Também se viu a ocupação mais contínua na metade do recorrido, entre os Rios Motucas e Águas Vermelhas. No setor oeste, ao longo da Rua Júlio Stolf (atual SC-108) no sentido norte havia áreas de ocupação urbana dispersa ao longo da via, até a Rua dos Suíços, no limite norte do bairro. Na zona leste, próximo ao limite da BR-101, a ocupação foi menos intensa, respeitando a restrição da zona de influência da rodovia duplicada, apresentando ocupações somente nas ligações viárias com a rua XV de Novembro, Rua dos Suíços e Rua Thereza Vegner.

Para o ano 2007, as áreas urbanizadas seguiram a tendência identificada no ano 1989, com as características de adensamento ao longo da rua XV de novembro. A ocupação estava com uma maior aglomeração física no centro do trecho da rua XV de novembro e algumas áreas mais dispersas ao norte do bairro, sempre ao longo de vias de ligação externa e conexão com sistema viário maior (PINHEIRO JÚNIOR, 2009). Sobre a Rua dos Suíços se observou duas manchas de ocupação importantes (Figura 38) e que são consequência da abertura das estradas e do loteamento nesse período até o ano 2015 como se mostra na Figura 37.

Analisando o tamanho dos lotes, percebe-se que nas áreas do norte do bairro e adjacências, no limite com a Zona Industrial Norte, os lotes têm dimensões de propriedades rurais (Figura 38 - Uso do lote). Isto dificulta parte das análises de lógica urbana, devido a que os diferentes tipos de Usos do Lote estão representando o que acontece só numa porção minúscula dela. Quer dizer que o lote quando é rural nele se devem analisar questões referidas ao uso e ocupação da terra, porcentagem e tipo de lavoura, etc. e não de tipo residencial, comercial,

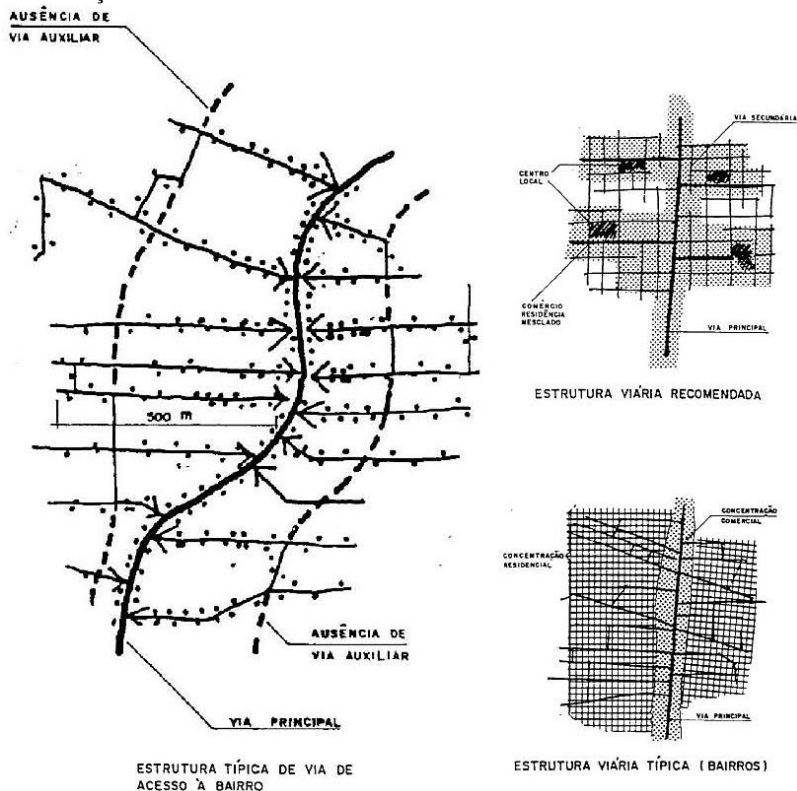
industrial, entre outros. Ou seja, a caracterização e tamanho dos lotes urbanos e rurais são diferentes.





O Plano de Estruturação Urbana de 1987 (PEU) estruturou a cidade em diferentes classificações, como evolução urbana, parcelamento e ocupação, sistema viário, entre outros, gerando-se diretrizes e propostas para urbanização da cidade. Nos vetores de expansão urbana está incluída a Rua XV de Novembro no bairro Vila Nova, e apresenta o modelo para ocupação dos bairros. São propostas a nível esquemático orientações para organização espacial interna dos bairros, com diferentes usos de acordo com as vias principais, formando centros mais ordenados fisicamente numa escala mais adequada com a mobilidade (JOINVILLE, 1987).

Figura 39 - Modelos para ocupação dos bairros proposto por Plano de Estruturação Urbana de 1987.



Fonte: Adaptação de Joinville (1987).

A identificação do padrão de organização da malha viária por parte do “PEU” e a sugestão para o ordenamento propuseram no bairro Vila Nova um modelo com vias principais do acesso ao bairro, mas também com vias auxiliares paralelas (Figura 39), para dar resposta às demandas que provêm das vias perpendiculares (secundárias), muitas delas sem outra ligação além da rua principal (malha viário tipo Espinha de Peixe). Há conexão ou fechamento da malha viária, com dois ou mais alternativas de acesso aos lotes. Isto possibilita melhorar a mobilidade e deslocamento das pessoas tanto através do transporte particular como público.

Esta iniciativa proposta em 1987 foi desenvolvida em parte no bairro Vila Nova com a criação do sistema binário no ano 2013, que consistiu na união da Rua Leopoldo Beninca e Rua São Firmino, formando uma via contínua paralela à Rua XV de Novembro com a mesma importância, dimensão e dinâmica. Desta forma se gerou uma via de acesso ao bairro desde o centro da cidade pela Rua XV de Novembro e um retorno pelas ruas Leopoldo Beninca e Rua São Firmino. Com essa conexão se forneceu aos lotes da zona sul uma via mais direta ao centro da cidade e à BR-101.

Consequência do sistema binário implantado no bairro, com a ligação das Ruas Beninca e Firmino, a análise toma uma grande relevância, no qual esta nova via principal responderá às demandas da população, do mercado, dos incentivos do estado e das permissões e limitações da legislação do governo, gerará as mudanças de usos e ocupação de Solo nos lotes ao longo do eixo viário e estará incidida por fenômenos de melhora na mobilidade, mas também pelo transporte. É por essas razões que novas demandas das infraestruturas podem mostrar esta dinâmica territorial.



## 5 APLICAÇÃO DO MODELO

Depois de haver exibido os materiais e método da pesquisa, suas etapas, e a caracterização da área de estudo, esta parte do trabalho tem como objetivo a aplicação do modelo metodológico na área de estudo proposto. Para tal fim, primeiramente se apresentam a base de dados alfanuméricos e cartográficos utilizados, logo após a avaliação multicritério dos fatores e restrições, como também os mapas com intervalos discretos de usos d'água (consumo do serviço de água potável) com o módulo de projeção estocástico de cadeia de Markov. Em seguida se procede à aplicação da função de autômato celular, validação dos parâmetros intervenientes, concluindo com a simulação do modelo dinâmico nos diferentes períodos de tempo.

Com a simulação dos cenários futuros nas datas estabelecidas, os mapas das áreas com maior incidência no tempo foram definidos e também mostraram as mudanças quantificadas em tabelas que aportam uma visão mais sólida do fenômeno como tal.

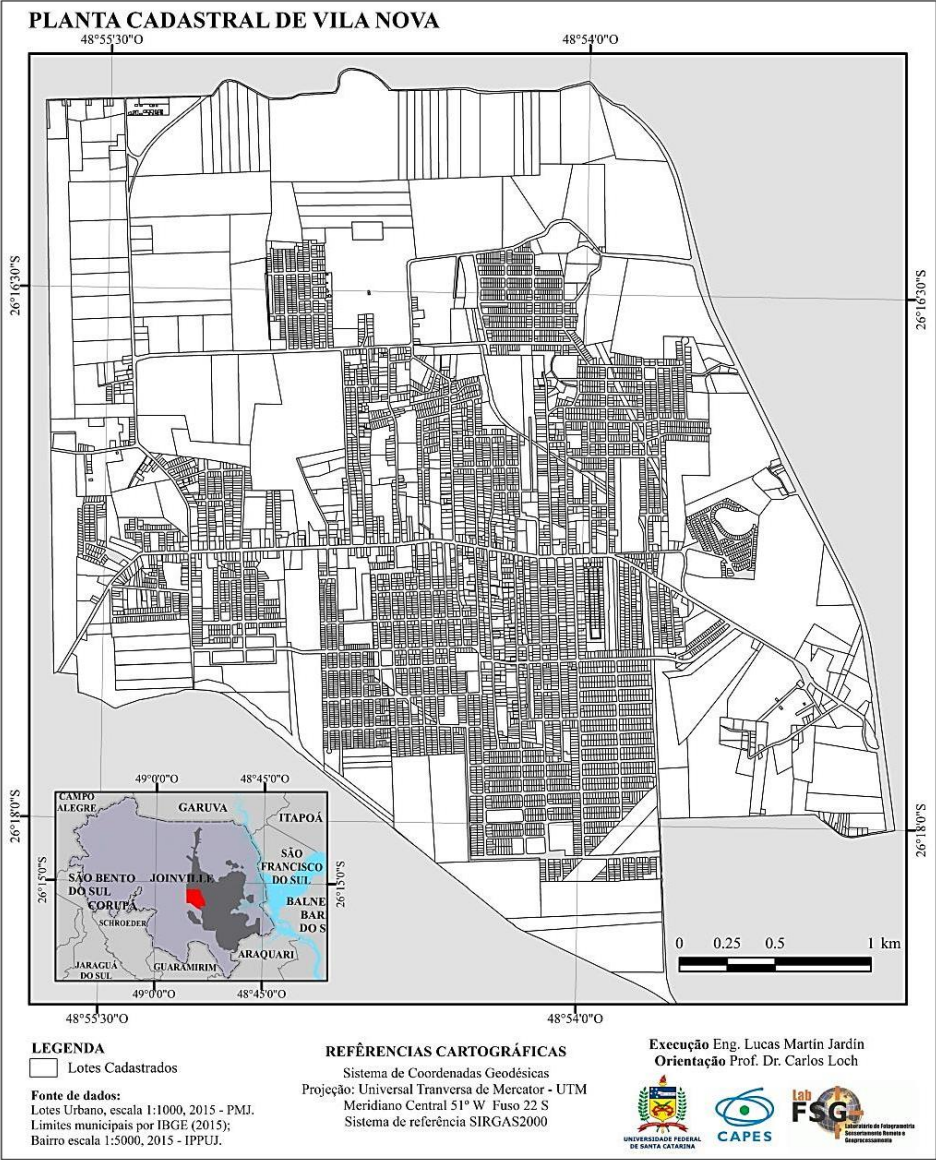
### 5.1 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

A cartografia base que se utilizou no trabalho de análise, foi a planta cadastral do ano 2015 do bairro Vila Nova fornecido pela prefeitura de Joinville. Nela foram-se adicionando as diferentes informações dos cadastros temáticos, mediante do *software* ArcGIS, de extensão shapefile, um formato vetorial de armazenamento digital, que salva a localização dos elementos geográficos e os atributos associados.

Os lotes da base cadastral do bairro Vila Nova no ano 2015 (Figura 40), que são motivo da análise da pesquisa, estão conformados por **7.821 parcelas**, nos quais encontram-se ainda grandes parcelas de origem rural, mostrando notáveis espaços despovoados que se traduzem num bairro que ainda está em transformação do rural para o urbano, assim como na consolidação da ocupação nos vazios urbanos com acesso às redes de infraestrutura.

O bairro, como mencionado anteriormente, é basicamente um subúrbio residencial, nos quais os usos dos lotes são dos mais diversos, sobressaindo os de uso residencial, comercial, serviços e institucional.

Figura 40 - Mapa da Planta Cadastral de Vila Nova do ano 2015.



Fonte: O autor (2016).

Por outro lado, as informações utilizadas do cadastro da rede de infraestrutura, neste caso a pesquisa se enfocou no cadastro de água potável, fornecido pela Companhia Águas de Joinville que estão tabuladas em formato Excel. Os dados são dos consumos mensais de todos os hidrômetros registrados no bairro durante o período do ano 2005 até 2015. Cada consumo registrado do hidrômetro pertence algum lote cadastrado, podendo dar-se o caso que vários hidrômetros pertençam a um lote comum. Nesses casos o que se avaliará é o consumo registrado em cada lote cadastral oficial, quer dizer que se somaram os consumos de todos os hidrômetros registrados no lote, obtendo-se assim um consumo único que representará o consumo mensal do lote.

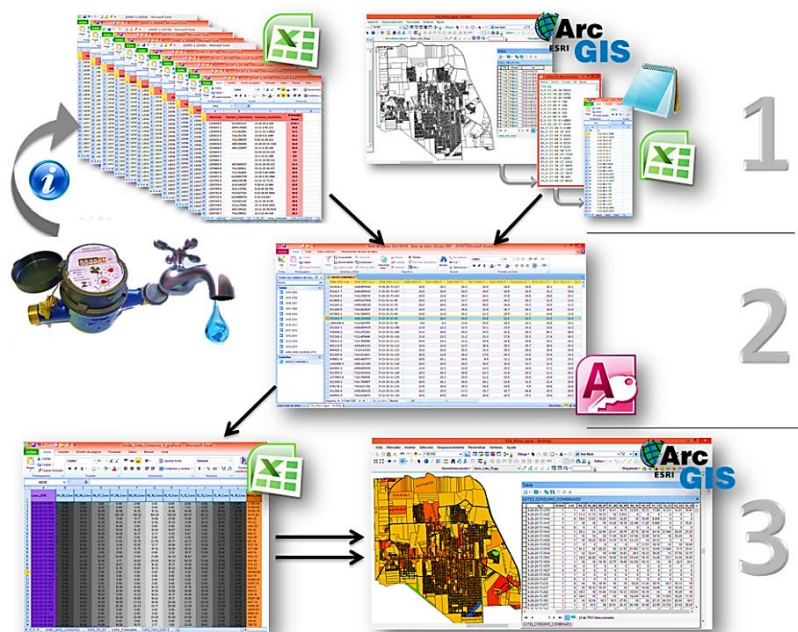
Outra consideração é a procedência dos dados dos consumos mensais analisados, a informação que se utilizou é o consumo faturado desde a empresa ao cliente, e não o consumo de leitura dos hidrômetros. Em teoria o consumo lido deve ser o que se fatura, mas a companhia de água tem preestabelecido intervalos de consumos mínimos a faturar, a partir da leitura o consumo faturado pode ser igual ou maior em termos de volume. Além disso, o consumo faturado, esta corrigido de qualquer tipo de erro que pode ter acontecido na leitura de campo por parte do funcionário ou as falhas instrumentais dos hidrômetros.

A partir dos consumos mensais foi feita uma planilha ano-a-ano da “Média Anual do Consumo Mensal”, esta média serviu para obter um único dado de consumo do lote anualmente, o que evita analisar as flutuações próprias das demandas do serviço nas diferentes estações do ano. Com esse consumo médio desde 2005 até 2015, se elaboram as tabelas no Excel.

As planilhas que contêm a média anual do consumo mensal de cada hidrômetro estão ligadas ao lote que pertencem pelo “Código de Inscrição Imobiliária” – IQ, este código é a chave para conectar a informação cartográfica com o cadastro temático no ArcGIS. Na Figura 41 está esquematizado o processo para obter a ligação dessas informações, ou seja, a base cadastral do município e o cadastro do consumo da companhia de água:

1. Primeiramente se tabularam os dados dos consumos (uma planilha por cada ano), como também da base cadastral em formato Excel. Para isso se transformou as tabelas de atributos da planta cadastral em formato *notepad*, para logo ser convertido a Excel (Figura 41 - passo 1).

Figura 41 - Esquema aplicado para ligar as informações alfanuméricas e cartográficas no SIG.



Fonte: O autor (2016).

2. Em seguida se importou estas planilhas no *software* Microsoft Access, que teve a tarefa fundamental de ligar os dados de todas as tabelas, utilizando como referência o Código Identificador “IQ”, isto é, conectar **7.821 lotes** (cada um com seu próprio IQ) com mais de **7.920 hidrômetros** distribuídos em todo o bairro desde 2005 até o ano 2015 (Figura 41 – passo 2).
3. Por último, com a execução do Access, se cria uma planilha que contém todos os consumos ano-a-ano mais o código identificador do lote, que teve como resultado **5.747 lotes** que tiveram no mínimo um hidrômetro nos dez anos de análises, também se exibe que no ano 2005 existiam somente **4.146 lotes** com algum tipo de consumo, enquanto que no ano 2015 já existiam **5.549 lotes** com consumos registrados.

Para terminar este processo de ligação das informações de diferentes fontes e formatos, se introduzem os dados alfanuméricos no SIG. Para isso, se insere a planilha do Excel anteriormente gerada, através de uma função de junção no ArcGIS, esta função faz a união dos dados através da definição de uma coluna comum na tabela de atributos (Figura 41 – passo 3). Importante destacar que a quantidade de lotes (polígonos cartográficos) a juntar deve coincidir com a quantidade de registros de lotes e consumos (códigos identificadores-IQ alfanuméricos e consumos correspondente) para concretar a correta junção – *Join*. O resultado final é que as médias anuais do consumo mensal de 2005 a 2015 ficam inseridas como campos na tabela de atributos representando a demanda dos respectivos lotes.

Para facilidade de compreensão e representação das análises, os dados das médias de consumo faturado inseridos já no ArcGIS, foram discretizados em intervalos de classe que envolvem todos os consumos e também as áreas do bairro que estão fora da análise, isto é, polígonos com ou sem Código de Inscrição Imobiliária não têm ligações de hidrômetro e a lei não permite sua instalação, como as áreas verdes, de estradas, e restringidas para ocupação urbana, entre outras (Quadro 4). Como toda área dentro do bairro deve estar dentro de uma classe, independentemente de formar parte de um lote cadastral com Hidrômetro.

Quadro 4 - Intervalo de Classes utilizadas para os mapas de “Usos d’ Água” (categorias de consumos).

Classe	Média anual do Consumo Mensal [m <sup>3</sup> ]
1	0,00
2	0,001 a 5
3	5,001 a 10
4	10,001 a 15
5	15,001 a 20
6	20,001 a 25
7	25,001 a 50
8	50,001 a 100
9	100,001 a 500
10	> 500
11	Não apto

Fonte: O autor (2016).

## 5.2 MAPAS DE VARIÁVEIS

Os fatores utilizados nesta etapa, primeiramente foram organizados em *shapefile* no ArcGIS, para serem inseridos na plataforma IDRISI, transformados em mapa Raster e após, aplicando os módulos de *Distance*, seguidamente o *Fuzzy*, e finalmente comparados os pesos com a rotina *Weigth-AHP*. No caso das restrições, após sua geração em ArcGIS, esses *shapefile* foram somente rasterizados como mapa binário no *software* IDRISI.

### 5.2.1 Fatores

A Figura 42 apresenta os fatores utilizados na aplicação do modelo dinâmico que explicam as transições de usos. Como foram explicitados no método, os fatores que representam as variáveis independentes do sistema, estão conformados em três grupos que no total somam quinze fatores.

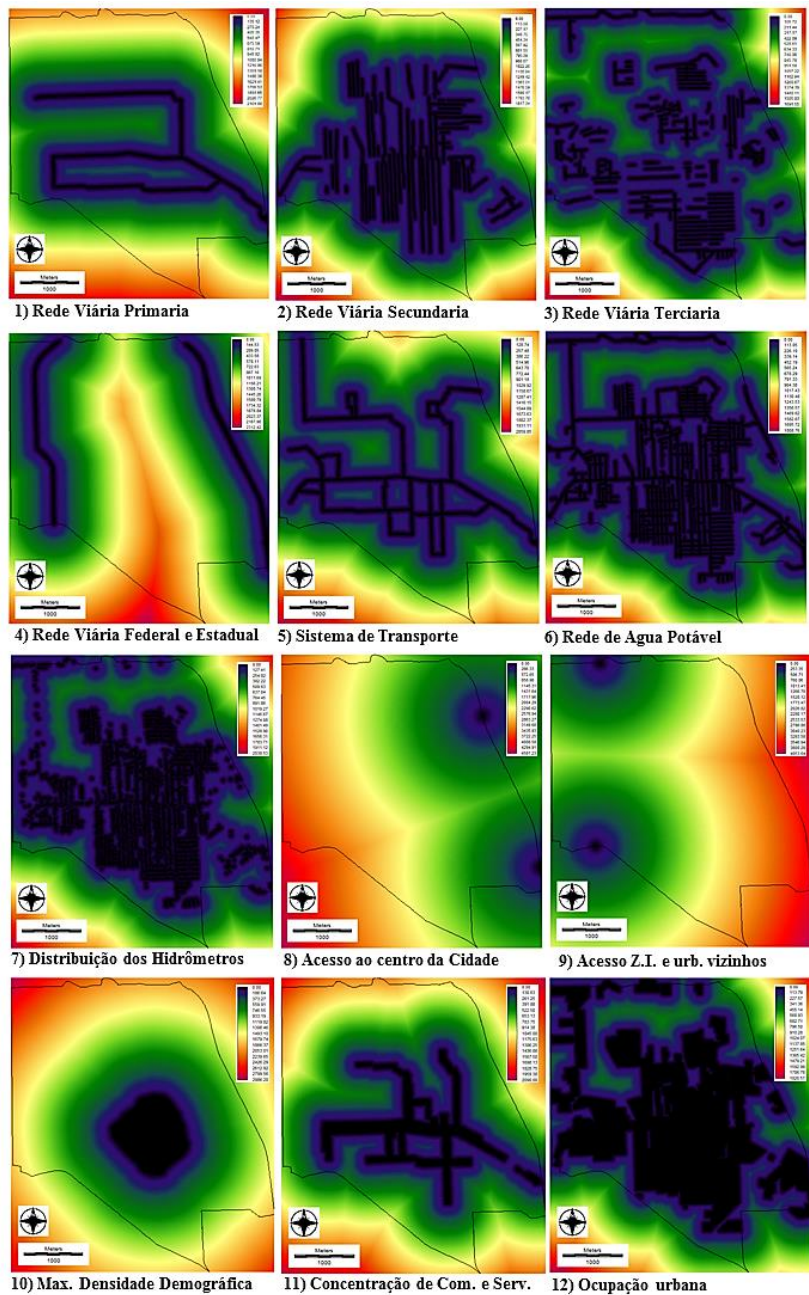
Os fatores de proximidade do sistema viário urbano e de transporte (Figura 42 – Imagens 1 a 5, 8 e 9), são de grande importância na promoção do desenvolvimento urbano, acessibilidade e circulação aos diferentes pontos do bairro. Quanto maior importância tenha a via, devido ao volume de veículos ou tráfego de passageiros que carrega, maior será o potencial de ocupação urbano sobre ela. Neste grupo se separou as vias em hierarquia de acessibilidade, as primárias (Sistema Arterial), conformadas pelas Ruas XV de Novembro, Leopoldo Beninca, São Firmino, João Miers, Rolando Gurske e dos Suíços. As vias secundárias (Sistema Coletor) estão ligadas às ruas primárias diretamente, como as vias terciárias (Sistema Local) às secundárias, estas chegam aos lotes mais distantes da Rua principal XV de Novembro. Também foi adicionada a “linha de transporte de coletivos”, que está dentro do bairro, sendo mais atrativa para a concentração de empregos, comércio, serviços e residências as áreas beneficiadas por este serviço.

Os fatores de redes de infraestrutura, vinculados ao fornecimento do serviço da água potável, como a distribuição espacial da rede de água, e dos hidrômetros instalados (Figura 42 – Imagens 6 e 7) foram anexados por ter relação direta com a variável dependente analisada, devido a que permite enxergar os lotes que podem ter acesso ao Serviço de Água Potável (no caso que ainda não tenham) e os pontos onde estão

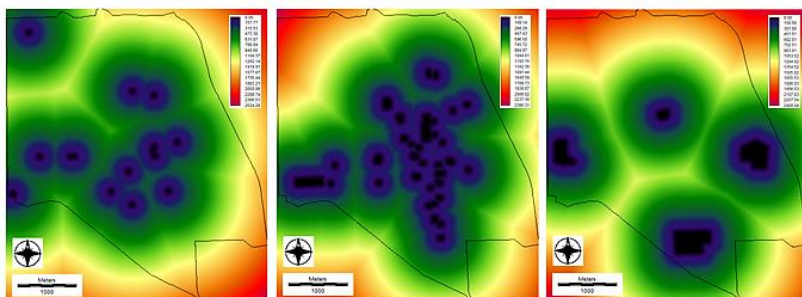
os hidrômetros que certamente são instrumentos de leitura dos consumos ao longo do tempo.

Os fatores demográficos, concentração de pessoas, moradia, prédios com maior fator de aproveitamento, locais de atividades sociais, comerciais, culturais, etc. (Figura 42 – Imagens 10 a 15) que demandam das redes do serviço básico de infraestrutura para seu correto funcionamento.

Figura 42 - Fatores empregados na aplicação do modelo dinâmico. Imagens resultantes do Módulo *Distance* no Idrisi. S.R. SIRGAS2000 UTM 22°S.







13) Equip. públicos relevantes

14) Prédios com maior uso de solo

15) Novos loteamentos

Fonte: O autor (2016).

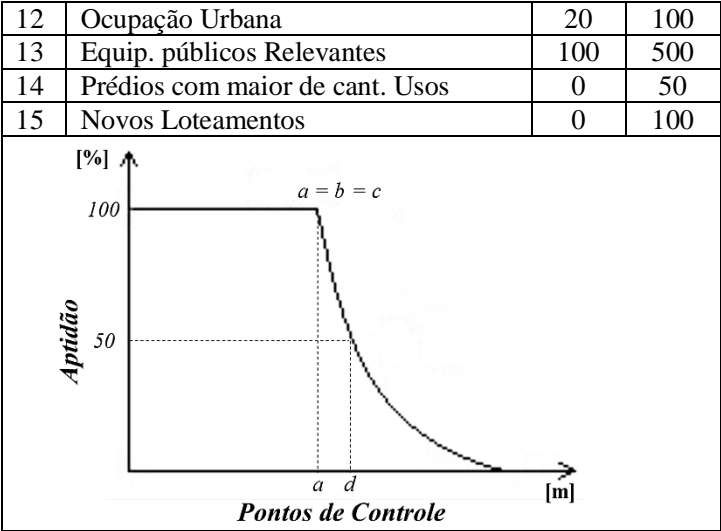
### 5.2.1.1 Áreas de Influência

Os mapas de fatores gerados da aplicação do módulo *Distance*, posteriormente foram utilizados na função de Lógica difusa ou lógica da incerteza *Fuzzy*, que define o grau de pertinência a um determinado fenômeno.

Na aplicação do módulo *Fuzzy* realizada no *software* Idrisi, se opta pela função “Monotonicamente Decrescente” em forma *J-shaped* para todos os fatores analisados, definindo os valores dos pontos de controle “*a*” e “*d*” no Quadro 5.

Quadro 5 - Valores e representação das áreas de influência exercidas pelos fatores com a função *Fuzzy* Monotonic. Decrescente *J-shaped*.

Fatores		Pontos de Controle	
		<i>a</i> [m]	<i>d</i> [m]
1	Rede Viária Primária (Sist. Arterial)	100	250
2	Rede Viária Secundária (Sist. Coletor)	50	150
3	Rede Viária Terciária (Sist. Local)	50	100
4	Rede Viária Federal e Estadual	100	500
5	Sistema de Transporte	50	300
6	Rede de Água Potável	25	100
7	Distribuição de Hidrômetros	25	50
8	Acesso ao centro da Cidade	200	3000
9	Acesso Z.I. e Urb. Vizinhas	200	3000
10	Máx. Densidade Demográfica	50	1000
11	Concentração de Com. e Serviço	50	100



As distâncias estabelecidas dos pontos do controle das superfícies, linhas ou pontos que representam os diversos fatores, foram determinadas baseadas em considerações de pesquisas e bibliografias que utilizam funções *Fuzzy*, nas que ressaltaram estes valores como distâncias propicias às alterações de Usos de solo, desenvolvimento urbano, adensamento das margens das vias, entre outras, e que consequentemente produzem alterações nas demandas das redes de infraestrutura básica destas áreas. O produto resultante da aplicação deste módulo são os mapas de aptidão ou grau de pertinência para cada Fator numa escala de aptidão de 0-255 *byte*.

5.2.1.2 Atribuições de pesos aos fatores

Logo da execução da função *Fuzzy*, o próximo passo refere-se à determinação quantificada dos diferentes níveis de influência dos fatores na evolução da demanda do serviço de Água Potável. Para tal, foram estabelecidos os pesos ponderados para cada um dos fatores.

Dessa forma, a atribuição dos pesos foi analisada de dois a dois os fatores em uma matriz de comparação pareada utilizando a escala contínua de valores de pesos, criando uma classificação hierárquica do peso em relação aos demais fatores, esta matriz se calculou com a rotina *Weight-AHP* no Idrisi. Por último se determina o grau de consistência

(*Consistency Ratio - CR*), para definir se os pesos relativos par-a-par configurados na matriz são aceitáveis, sendo que um grau de consistência menor ou igual a **0,10** é considerado aceitável (Quadro 6).

Quadro 6 - Pesos dos Fatores com a função *Weight-AHP* do Idrisi.

Fatores		Pesos
1	Rede Viária Primária	0,163
2	Rede Viária Secundária	0,098
3	Rede Viária Terciária	0,046
4	Rede Viária Federal e Estadual	0,026
5	Sistema de Transporte	0,100
6	Rede de Água Potável	0,088
7	Distribuição de Hidrômetros	0,062
8	Acesso ao centro da Cidade	0,020
9	Acesso Z.I. e Urb. Vizinhas	0,017
10	Máx. Densidade Demográfica	0,068
11	Concentração de Com. e Serviço	0,104
12	Ocupação Urbana	0,100
13	Equip. públicos Relevantes	0,022
14	Prédios com maior de cant. Usos	0,060
15	Novos Loteamentos	0,026
$\Sigma$	<i>Somatória total de pesos</i>	<i>1,000</i>
<b>Taxa de Consistência</b>		<b>0,09</b>

Fonte: O autor (2016).

## 5.2.2 Restrições

As limitações ou variáveis restritivas são os setores dentro da mesma área de estudo que não são motivo de análises por diversos razões. Nestas análises se destacam dois grupos, um deles é a restrição das áreas que ocupam as estradas e logradouros do sistema viário urbano (Figura 43 – Imagem 1), e devido a que o trabalho analisa a escala do lote cadastral, é importante considerar como terreno não admissível de mudanças nos usos do consumo do serviço de Água potável.

O segundo grupo de limitações são as restrições de ocupação (Figura 43 – Imagens 2 a 4), conformadas por áreas que estão contempladas na legislação municipal e não podem ser utilizadas para

uso residencial, comercial, serviços, etc., e isso leva a que não exista utilização do serviço de água potável nessas áreas.

O caso das áreas de Preservação Permanente, que estão contempladas na Lei Complementar Nº 312/2010 de Uso e Ocupação do Solo do município. A outra restrição apresentada é a faixa de segurança disposta pela EletroSul (empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia do Brasil) na linha de transmissão de energia elétrica que atravessa o bairro até a Subestação Joinville.

Figura 43 - Restrições empregadas na aplicação do modelo dinâmico. Imagens Booleanas. Sist. de Ref. SIRGAS2000 UTM 22°S.



Fonte: O autor (2016).

Da mesma forma, foi agregado como última restrição as áreas que ocupam os rios Motucas e Águas Vermelhas dentro do bairro, por estarem considerados na legislação ambiental, no loteamento e, além disto, as áreas canalizadas que ocupam é comparativo com os tamanhos de lotes analisados ou as larguras das ruas, sendo não depreciáveis suas

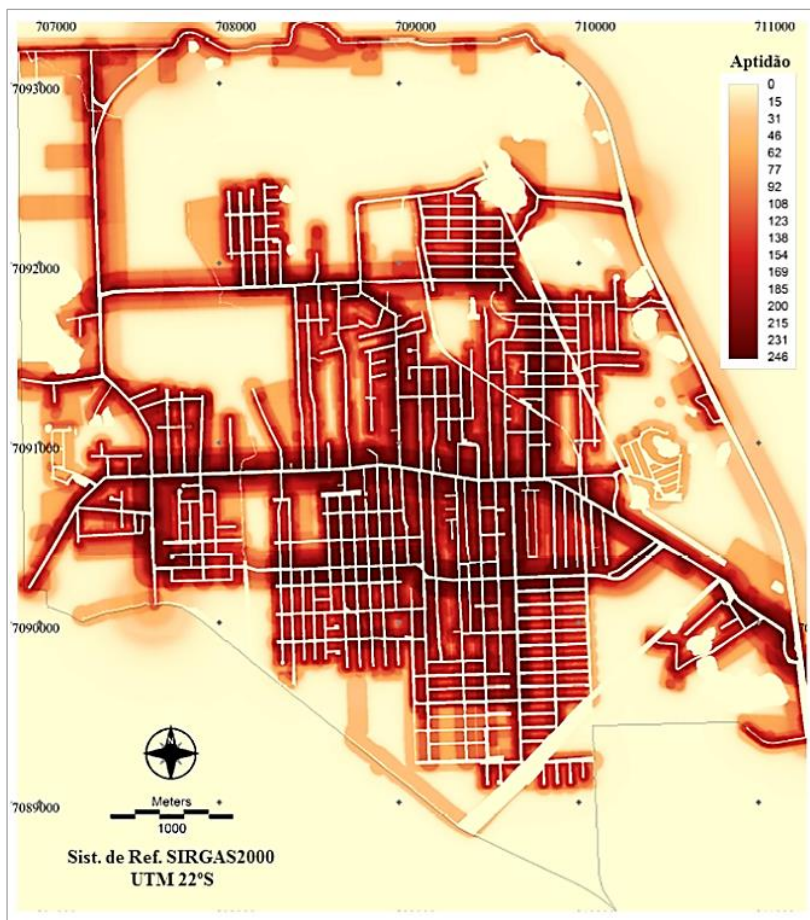
dimensões na análise, pelo que se considerou como uma área restrita às dinâmicas estudadas.

### 5.3 AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO

Uma vez que foram obtidos os mapas com as áreas de influência (módulo *Fuzzy*), os pesos de cada fator (módulo *Weight-AHP*), e os mapas variáveis restritivas (mapa booleano), os mesmos são agregados na análise de avaliação multicritério por meio da rotina *MCE (Multi Criteria Evaluation)* com o método *OWA (Ordered Weighted Average)*, que permite controlar o nível total de compensação entre os fatores e o nível de risco na análise.

De modo que, deste processo se gera o mapa de aptidão ou de probabilidade de transição das Classes de Consumos (Figura 44). Este mapa expressa o potencial de evolução de aptidão para todas as categorias sem discriminação alguma.

Figura 44 - Mapa Raster genérico do Potencial de Aptidão dos Consumos resultantes da Avaliação por Múltiplos Critérios (MCE) com o método OWA do Idrisi no Bairro Vila Nova.



Fonte: O autor (2016).

## 5.4 COLEÇÃO DE IMAGENS

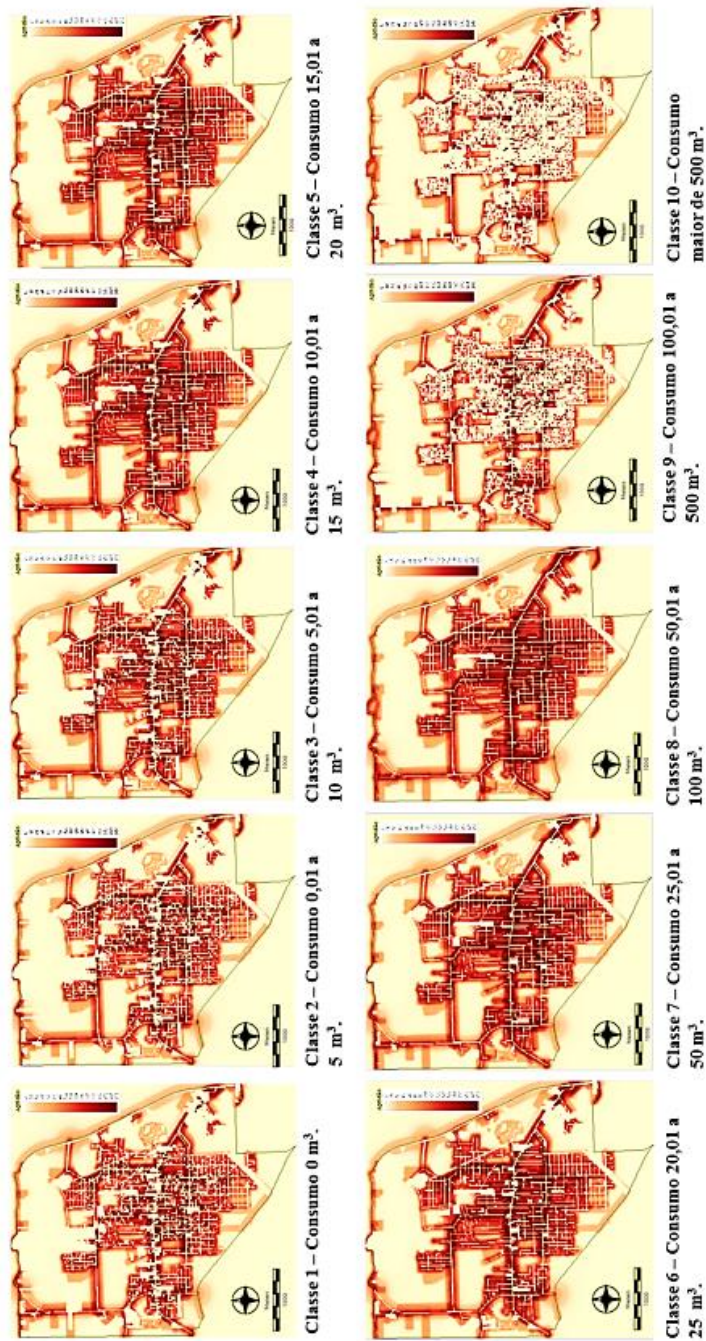
Como foi mencionado antes, o mapa expressa o potencial de evolução de aptidão para todas as classes de consumo (Figura 44), e não considera algumas restrições adicionais que são determinadas como

parte das análises que se deve fazer a cada Classe de Consumo apresentado anteriormente no Quadro 4.

Este processo de Avaliação Multicritério (MCE) se realiza para cada categoria de “Uso d’ Água”, quer dizer, para cada classe de consumo foi elaborado um mapa de potencial de aptidão. Os mapas de MCE criados para cada classe de consumo contêm todos os elos, os mesmos fatores (15), as mesmas restrições (4) e o mesmo método e ordem de pesos (OWA) já mencionados, mas diferem entre si por considerar restrições próprias que dispõe cada Classe de Consumo às transições de determinadas áreas. De modo que se gerará uma “Coleção de Mapas” (Figura 45) de potencial de mudança para cada Classe de Consumo que servirá para alimentar posteriormente o módulo de Cadeia de Markov Autômato Celular (CA\_MARKOV).

Em efeito, esta Coleção de Imagens representa o potencial de Aptidão de cada uma das categorias de Consumo dentro da área estudada, ou seja, que apresenta a probabilidade, na escala de 0 a 255 bytes, de cada pixel da imagem de pertencer à Classe de consumo analisado.

Figura 45 - COLEÇÃO DE IMAGENS do Potencial de Aptidão das diferentes Classes de Consumos resultantes da MCE-OWA do IDRISI no Bairro Vila Nova. Sist. de Ref. SIRGAS2000 UTM 22°S.



Fonte: O autor (2016).



## 5.5 MAPAS DE USOS - CLASSES DE CONSUMO DE ÁGUA

Uma vez concluídas as etapas que envolvem as variáveis independentes do modelo, isto é, os fatores e as restrições, sua análise multicritério até a coleção de imagens do potencial de aptidão para cada categoria de consumo, se procederá nesta nova etapa da aplicação do modelo, na geração dos mapas de usos ou classes de consumos dos anos 2005 e 2010.

Estes mapas de usos do ano 2005 e 2010 foram escolhidos com essa separação temporal para ter evidências mais claras da dinâmica evolutiva da demanda do serviço de água potável, podendo enxergar as mudanças dos consumos, como também o surgimento de novas áreas que utilizarem do serviço nesses períodos.

Com o processamento e ligação dos dados cartográficos e alfanuméricos esquematizados na Figura 41 e classificados segundo o Quadro 4 em classes de consumos, que estão em formato shapefile, são exportados ao *software* Idrisi e transformados em formato vetorial.

No programa Idrisi os mapas vetoriais de Usos 2005 e 2010 são rasterizados com uma resolução do pixel de 10m x 10m (Figura 46 e 47), conformando assim uma grade de pixels de 442 colunas x 495 linhas. O mesmo procedimento se faz para o mapa de Usos 2015.

A seleção dessa resolução de pixel foi adotada pela característica da estrutura fundiária urbana mais homogênea do bairro, que são os lotes de uso residencial e comercial consolidado dentro do perímetro estudado e que grande parte disto têm uma testada que vai de 8m a 22m aproximadamente.

Além disso, o que influenciou definitivamente a decisão para adotar a resolução de 10m x 10m foi a consideração do Anexo IV da Lei Compl. N° 312/2010 que determina os frentes mínimos dos lotes nos Usos de Solo admitidos e Índices urbanísticos fixados pelo plano diretor. Este mínimo é de 10m, podendo ser maior, dependendo do tipo de “Zona”. Estas dimensões obviamente estão em função do uso de solo definido na lei e que no caso do bairro Vila Nova encontra-se com um uso principalmente residencial (ZR2b: Zona Residencial Unifamiliar em Áreas de Uso Restrito, frente mínimo de 10m; ZR4a: Zona Residencial Multifamiliar em Áreas de Uso Restrito, frente mínimo de 10m; ZCD2: Corredor Diversificado Centro do Bairro, frente mínimo de 12m).

Figura 46 - Mapa Raster das Categorias de Consumo de água potável por lote do ano 2005.

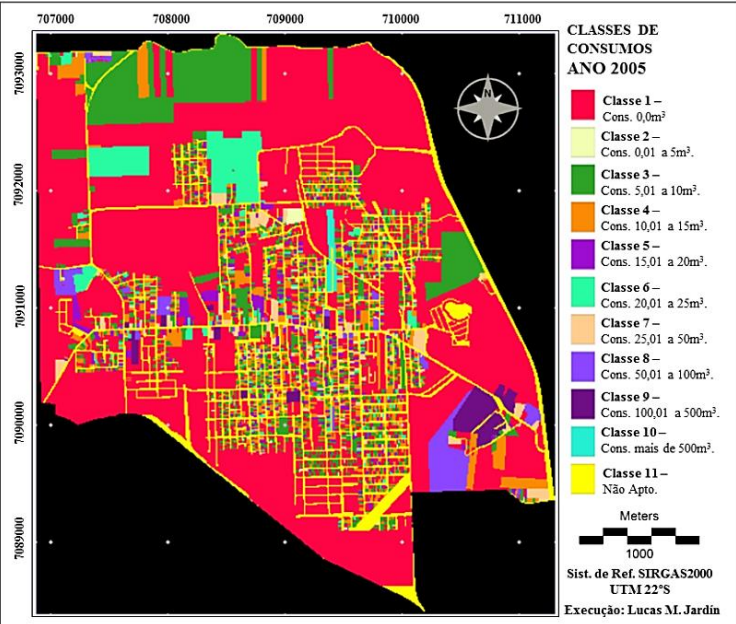
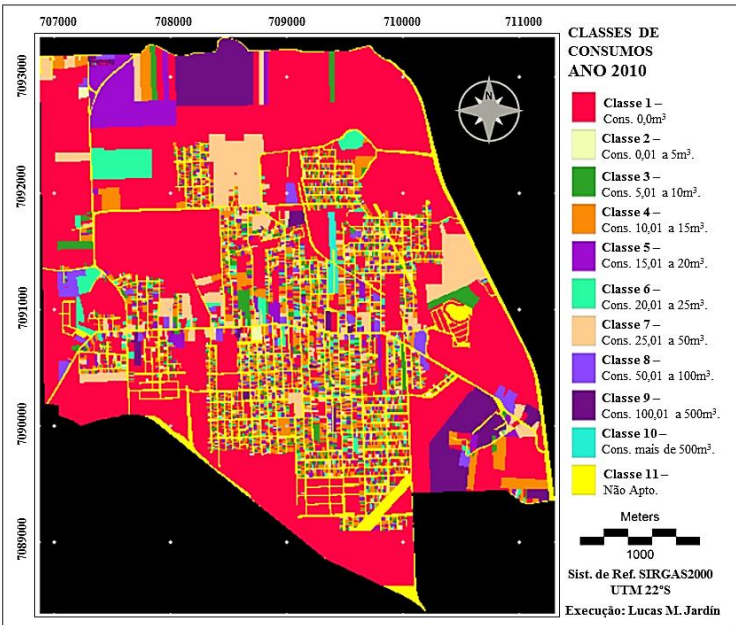


Figura 47 - Mapa Raster das Categorias de Consumo de água potável por lote do ano 2010.



Fonte: O autor (2016).

## 5.6 PROCESSO ESTOCÁSTICO COM CADEIA DE MARKOV

A fase de Cadeia de Markov tem como finalidade obter a probabilidade de cada pixel de uma dada categoria de uso de consumo de poder mudar ou não, para outra categoria no próximo estágio. Na aplicação do módulo *Markov* do Idrisi, primeiramente se ingressam os mapas raster das categorias de consumo de água do ano 2005 (tempo  $t_0$ ) e 2010 ( $t_1$ ), logo são detalhados os períodos temporais entre estas duas imagens (5 anos) e o período de tempo a ser projetada as imagens, ou seja, ano 2015 ( $t_2$ ). Finalmente se define um erro proporcional de 15%, para atingir uma classificação de probabilidade máxima (85% de acurácia de mapeamento, baseado em PONTIUS, 2000).

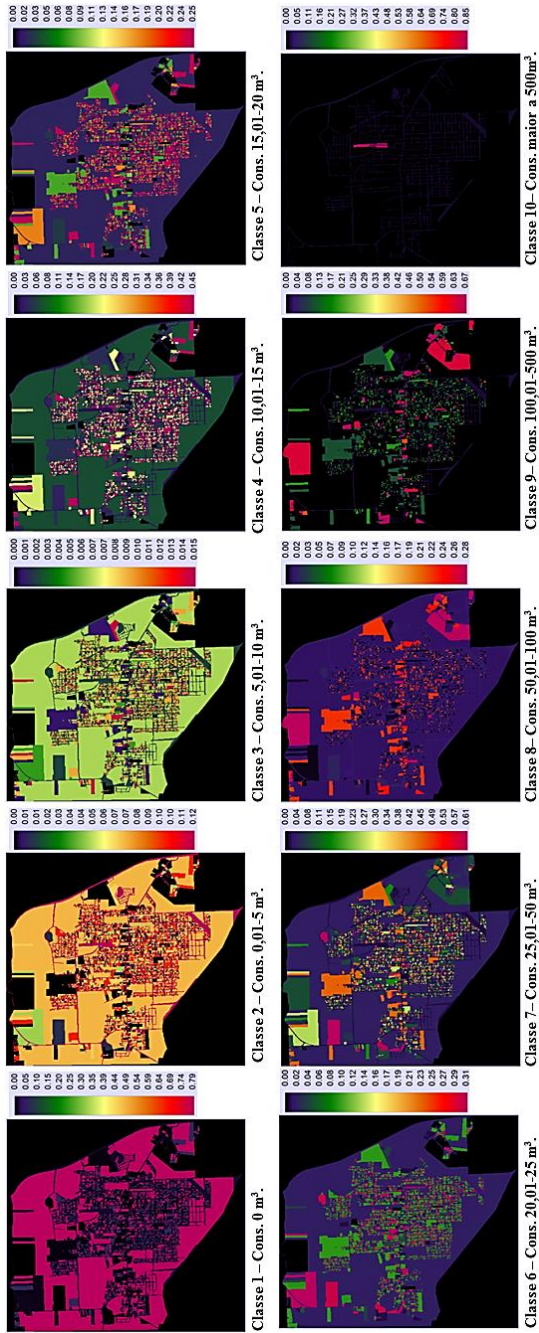
Os produtos que resultam deste módulo do Idrisi são: a matriz de probabilidade de transição (Quadro 7) que indica a probabilidade de uma célula (pixel), de uma classe (Classe 1 a 10, mais a classe 11 que são das áreas não aptas) de mudar para qualquer outra classe (ou permanecer na mesma) no período seguinte de análise ( $t_2$ ); a matriz de áreas de transição, que indica a área total de pixels que pode sofrer uma transformação ou mudança a outra classe (ou não) no próximo período de tempo; e por último uma série de imagens de probabilidades condicionais (Escala 0 a 1), mostrando a probabilidade de todos os pixels envolvidos nas análises de pertencer a uma dada categoria (Figura 48).

Quadro 7 - Matriz de Probabilidade de Transição 2005-2010.

Classes		2010 (%)											Total 2010
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
2005 (%)	1	78.9	0.9	5.0	6.7	1.8	1.9	3.8	1.0	0.1	0.0	0.0	100%
	2	0.6	0.0	12.0	18.6	9.5	5.1	1.3	0.0	53.0	0.0	0.0	100%
	3	1.1	0.9	11.6	22.4	25.2	3.8	16.0	0.4	18.6	0.0	0.0	100%
	4	1.1	0.9	11.6	22.4	25.2	3.8	16.0	0.4	18.6	0.0	0.0	100%
	5	0.7	0.6	3.6	20.4	17.8	31.0	25.6	0.3	0.0	0.0	0.0	100%
	6	0.1	0.1	1.5	3.0	2.8	30.2	60.6	1.8	0.0	0.0	0.0	100%
	7	0.3	0.0	0.5	3.9	8.0	9.0	45.5	22.5	10.2	0.0	0.0	100%
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	8.5	23.8	67.0	0.0	0.0	100%
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	27.7	63.2	0.0	0.0	100%
	10	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	85.0	1.5	100%	
	11	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	85.0	100%	

**Classes:** **1** (Cons. 0 m<sup>3</sup>); **2** (Cons. 0,01-5m<sup>3</sup>); **3** (Cons. 5,01-10m<sup>3</sup>); **4** (Cons. 10,01-15m<sup>3</sup>); **5** (Cons. 15,01-20m<sup>3</sup>); **6** (Cons. 20,01-25m<sup>3</sup>); **7** (Cons. 25,01-50m<sup>3</sup>); **8** (Cons. 50,01-100m<sup>3</sup>) ; **9** (Cons. 100,01-500m<sup>3</sup>); **10** (Cons. Maior a 500m<sup>3</sup>) ; **11** (Área fora da análise).

Figura 48 - Grupo de Imagens de Probabilidades Condicionais das diferentes Classes de Consumo.



Fonte: O autor (2016).

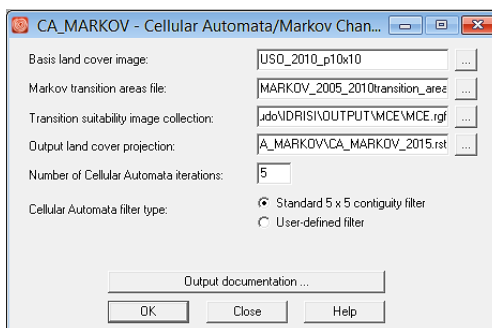
## 5.7 MODELO DE PROJEÇÃO

A simulação dos cenários dos consumos de água do ano 2015 se desenvolveu através da aplicação do módulo de Autômato Celular (*ca\_markov*) no Idrisi, onde a conjugação das variáveis independentes das dinâmicas, mais a projeção probabilística da variável dependente permitem emular os cenários futuros.

A projeção ao ano 2015 foi escolhida, pois os dados de consumo real desse ano estão disponíveis, e serviram para que posteriormente a este processo se realize comparação e validação do modelo de simulação. Para obter a projeção ao ano 2015 foram inseridos neste módulo (Figura 49) como dados de entrada os seguintes elementos:

1. Primeiramente o mapa raster das categorias de consumo de água potável por lote do ano 2010 (tempo  $t_1$ );
2. Em segundo lugar a Matriz de Áreas de Transição (formato de texto “.txt”) produzida anteriormente pelo módulo de *Markov* com os mapas dos anos 2005 e 2010;
3. Em seguida a Coleção de Imagens do Potencial de Aptidão das diferentes Classes de Consumos resultantes do módulo *MCE-OWA*;
4. Logo se especifica o período de tempo entre o início e o fim da projeção (Número de iterações) neste caso seria entre 2010 e 2015, ou seja, 5 iterações;
5. Por último se adotou um filtro de contiguidade standard de 5x5.

Figura 49 - Módulo de *ca\_markov* no Idrisi.



Fonte: O autor (2016).

## 5.8 CENÁRIOS DE USOS

Através da aplicação do algoritmo de Autômato Celular obteve-se a simulação dos cenários de consumos de água potável para o ano de 2015. Esta projeção está representada na Figura 50, discretizados por categorias de consumos, onde se consegue observar uma imagem raster de resolução de pixel de 10m x 10m que mostra em cada pixel as mudanças de consumos de uma classe a outro no período de 5 anos (2010 a 2015).

Na aplicação do módulo *ca\_markov* se utilizou como imagem base de referência do ano 2010 ( $t_1$ ), de tamanho de pixel de 10m x 10m, que foi a imagem na que se baseou o algoritmo para projetar as transformações de consumos para o ano de 2015. Esta imagem, do ano 2010, a imagem de consumo real de cada lote cadastral a distorção evidente que gerou a utilização da resolução de pixel de 10x10.

Da mesma forma, se anexou o mapa de categorias de consumos reais do ano 2015 (Figura 51), representado com uma resolução de pixel de 10x10, usando-se de base para a comparação e validação do modelo simulado do ano 2015.

Figura 50 - Mapa de Usos Projetados ano 2015. Categorias de Consumo de água potável. Resultado da simulação do módulo *ca\_markov* no Idrisi.

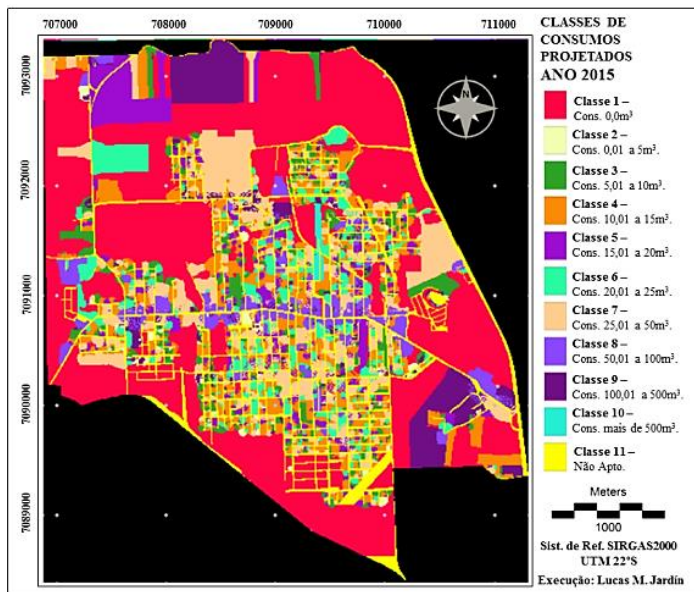
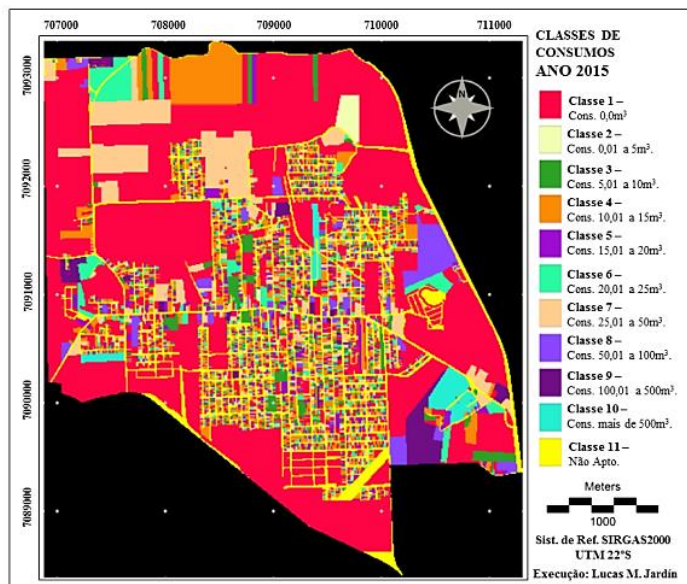


Figura 51 - Mapa de Usos Real do ano 2015. Categorias de consumo de água potável.



Fonte: O autor (2016).



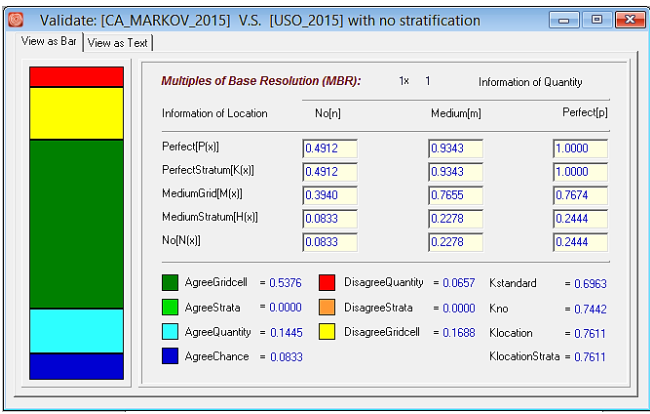
5.9 VALIDAÇÃO

Uma etapa importante da modelagem dinâmica é a comprovação e validação da simulação do modelo de Markov Autômato Celular. Determinar sua qualidade e poder de concordância permite garantir predições de cenários (futuros) com maior certeza de aproximação da realidade, que no fim das contas é o que interessa no processo de modelado.

A validação do modelo está baseada na comparação do Mapa de Uso Projetado ao ano 2015 ( $t_2$ ) e o Mapa de Uso Real do ano 2015 (mapa de referência), apresentados previamente na Figura 50 e 51, utilizando como critério de análise comparativa os Índices Kappa, que permite obter uma porcentagem de concordância entre os mapas. Concordância que é baseada na porcentagem de pixels classificados corretamente e também na avaliação da qualidade dos pixels com relação à localização das mudanças.

Para conseguir determinar os Índices Kappa se empregou o módulo *Validate* no Idrisi (Figura 52), fornecendo uma análise comparativa sobre a base do índice de concordância e apresenta vários tipos de índices estatísticos associados.

Figura 52 - Índices estatísticos de Validação do modelo. Módulo *Validate* do Idrisi.



Fonte: O autor (2016).

Os resultados do módulo mostram a abrangência da análise estatística, na qual se pretende dar resposta a duas questões importantes da corroboração no grau de similitude. Uma é a concordância da



quantidade de células ou pixels de cada categoria dos mapas comparados, e a segunda é a concordância em termos de localização dos pixels em cada categoria.

Sintetizando os resultados expostos pelo módulo *Validate*, na tabela 4 se exibem os índices Kappa e se descreve os níveis de qualidade associada a estes valores que estão baseados na tabela 3 apresentada no método da pesquisa. Os dois primeiros índices se referem aos números de pixels classificados corretamente, e os três indicadores expressam a relação dos padrões, quantidades e localização das mudanças.

Tabela 4 - Resume comparativo dos coeficientes Kappa associado à valoração da qualidade de predição.

<b>Índice Kappa - Usos Projetados 2015 versus Usos Real 2015</b>		
<b>Coeficientes</b>	<b>Valoração</b>	<b>Interpretação qualitativa</b>
<i>%Correct</i>	93,43 %	Excelente
<i>K<sub>standard</sub></i>	69,63 %	Muito boa
<i>K<sub>no</sub></i>	74,42 %	Muito boa
<i>K<sub>loc</sub></i>	76,11 %	Muito boa
<i>K<sub>locationStrata</sub></i>	76,11 %	Muito boa

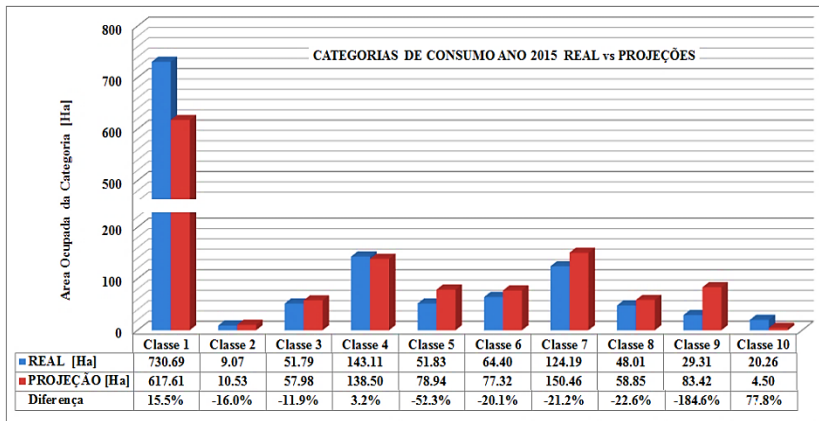
Fonte: O autor (2016).

Em termos gerais, o teste teve altos índices de concordância ou grau de similaridade entre os mapas de categorias de consumo do ano 2015 Real e do Projetado, respaldado nos dados de consumo dos anos 2005 e 2010, somados à disposição explicativa da dinâmica das variáveis independentes apresentadas e das configurações adotadas nas diferentes etapas para este modelo.

Os resultados da simulação também podem ser analisados em termos de área ocupada por cada categoria (Figura 53). Isto significa que cada pixel além de indicar uma categoria associada, representa uma área de 100m<sup>2</sup> (10mx10m). Como se manifesta no gráfico, a Classe 3 e 4 (consumo de 5,01-10m<sup>3</sup> e 10,001-15m<sup>3</sup>, respectivamente) que representam o consumo do uso residencial unifamiliar em grande medida, estão com diferenças mínima em relação ao consumo real. Onde se podem ver algumas diferenças nas áreas, são naquelas classes de menor área ocupada pelo consumo real do ano 2015, que logo na projeção uma pequena variabilidade gera grandes desvios ou tendências

errôneas dos futuros consumos, devido a que no uso real do ano 2005 a 2010 eram áreas com baixa probabilidade de utilização.

Figura 53 - Representação das Áreas de Ocupação de cada Categoria de Consumos no bairro.



Fonte: O autor (2016).

5.10 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO FUTURO

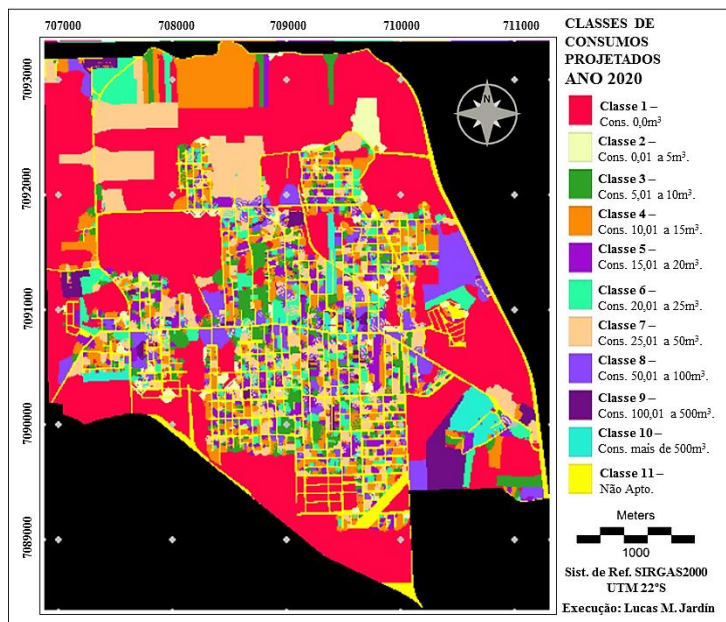
Após a validação do modelo, foi feita a simulação dos mapas de categorias de Consumo de Água para os anos 2020, 2025 e 2030 (Figuras 54, 55 e 56). As simulações levam em consideração as mesmas variáveis independentes (quinze) e o tratamento das mesmas com a Avaliação Multicritério. Mas com relação à variável dependente, a diferença do cenário projetado anteriormente, foi a criação das matrizes de Probabilidade de Transição para cada Mapa de Usos Projetado.

De modo que a aplicação do módulo de Cadeia de Markov foi partindo da base dos mapas de Usos de Consumo do ano 2010 e 2015, e com iterações referentes aos anos de projeção (ano 2020, 2025 e 2030).

Com relação à simulação projetada para o ano 2030, pode considerar-se que a distância temporal em relação às datas de referência e à prognosticada gera grandes divergências que distorcem e produzem erros grosseiros na análise, mas a análise da pesquisa não está somente focada na localização das mudanças, mas também na quantidade que ela se estima com relação à dinâmica territorial. Mudanças e dinâmicas que serão avaliadas e podem estar relacionadas com outros fatores, como é a

verticalização das áreas residenciais, entre outras variáveis explicativas, que constituirão a análise do próximo capítulo.

Figura 54 - Mapa de Usos Projetados ano 2020. Categorias de Consumo de água potável. Simulação do módulo `ca_markov` no Idrisi.



Fonte: O autor (2016).

Figura 56 - Mapa de Usos Projetados ano 2025. Categorias de Consumo de água potável. Simulação do módulo ca\_markov no Idrisi.

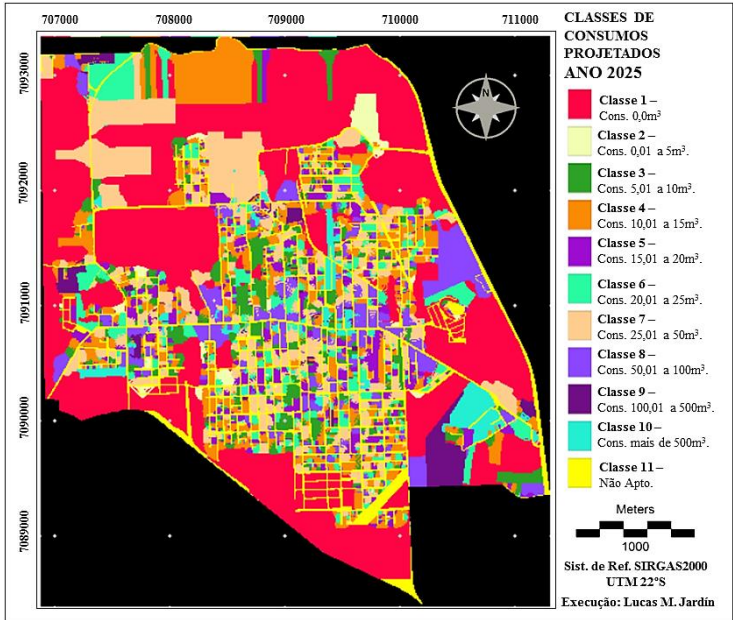
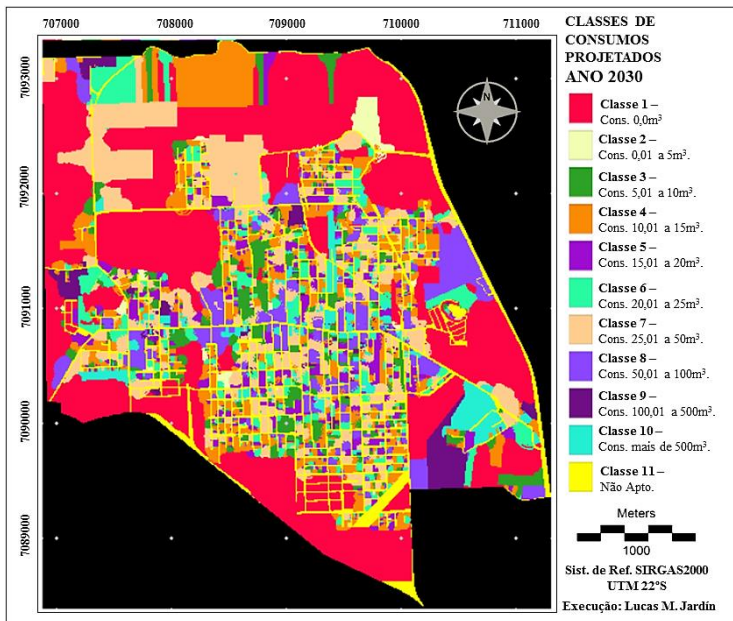


Figura 55 - Mapa de Usos Projetados ano 2030. Categorias de Consumo de água potável. Simulação do módulo ca\_markov no Idrisi.



Fonte: O autor (2016).

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas etapas da caracterização da área de estudo e posterior modelagem das demandas do serviço básico, obteve-se uma grande quantidade de resultados, que ajudam a determinar a incidência do crescimento urbano no território, o protagonismo do sistema viário, a relação dos cadastros setoriais com a atualização das mudanças territoriais, como também da importância do modelo de predição do crescimento das demandas dos serviços de infraestrutura para contribuir na gestão e planejamento das instituições envolvidas.

Nesta etapa, pretende-se analisar as informações anteriormente apresentadas e realizar um cruzamento dos dados Gerados a partir dos diversos formados, para abordar de forma mais focada os diversos casos e questões surgidos pela leitura da dinâmica territorial.

### 6.1 CRESCIMENTO URBANO E A DEMANDA DA REDE DE INFRAESTRUTURA

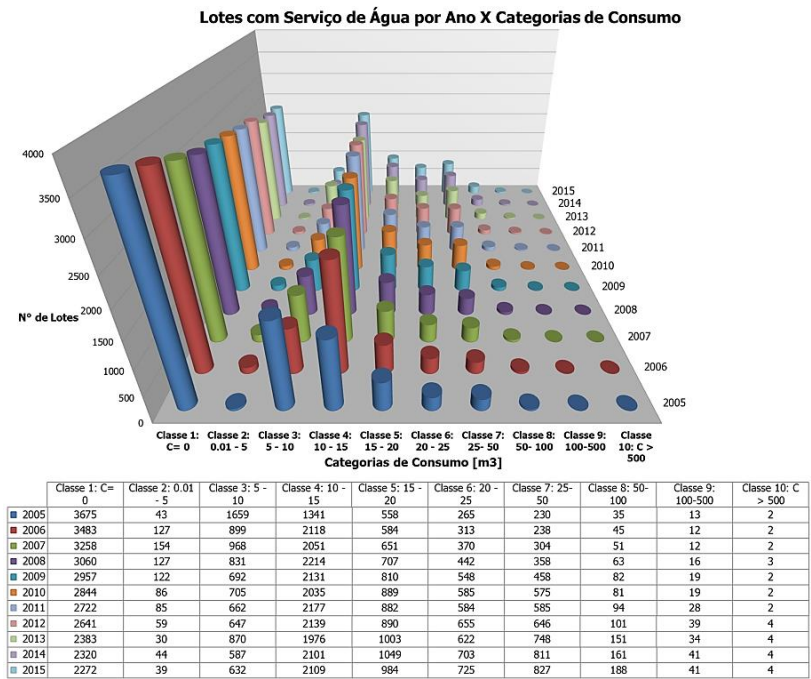
A evolução da demanda do serviço, desde o ano 2005 até o 2015, foi determinada mediante a quantificação dos hidrômetros da companhia de Águas ligados aos lotes do bairro. O gráfico da Figura 57 representa a quantidade de lotes que têm pelos menos um hidrômetro ligado a ele e também a quantidade de lotes sem ligação à rede do serviço.

Certamente, além de representar a quantidade de lotes conectados à rede de serviço de infraestrutura, também é possível observar a quantidade de lotes que possui cada categoria de consumo. Do mesmo modo, percebe-se a superposição temporal ano a ano. Isto permite analisar as diferentes categorias de consumo e o comportamento no tempo, de modo que a Figura 57 será motivo de análises nos diferentes itens do capítulo.

Nesse sentido, foi analisada, primeiramente, a designada Classe 1, que representa a categoria sem consumo, ou seja, que são lotes sem ligação. Pode-se ver que existiam, no ano 2005, 47% (3.675) de lotes sem ligação, para o ano 2015, havia apenas 29% (2.272), demonstrando-se a diminuição de lotes sem o serviço, o que deriva da existência de atividade de algum tipo de ocupação do solo. Isto pode traduzir-se num fenômeno de expansão e ocupação urbana, considerando-se que se analisou através de uma quantidade fixa de lotes totais do ano 2015 (7821 lotes) e que o bairro é de caráter residencial.

Outra característica observada é na classe 2, que exibe um aumento importante de lotes ligado a esse consumo no período de 2006 (127 lotes) e que decresce no período de 2012 (59) e 2015 (39 lotes), o que dá indícios de tratar-se de uma queda de novas ocupações de lotes com uso residencial unifamiliar.

Figura 57 - Evolução das Ligações dos lotes à Rede de Infraestrutura.



Fonte: O autor (2016).

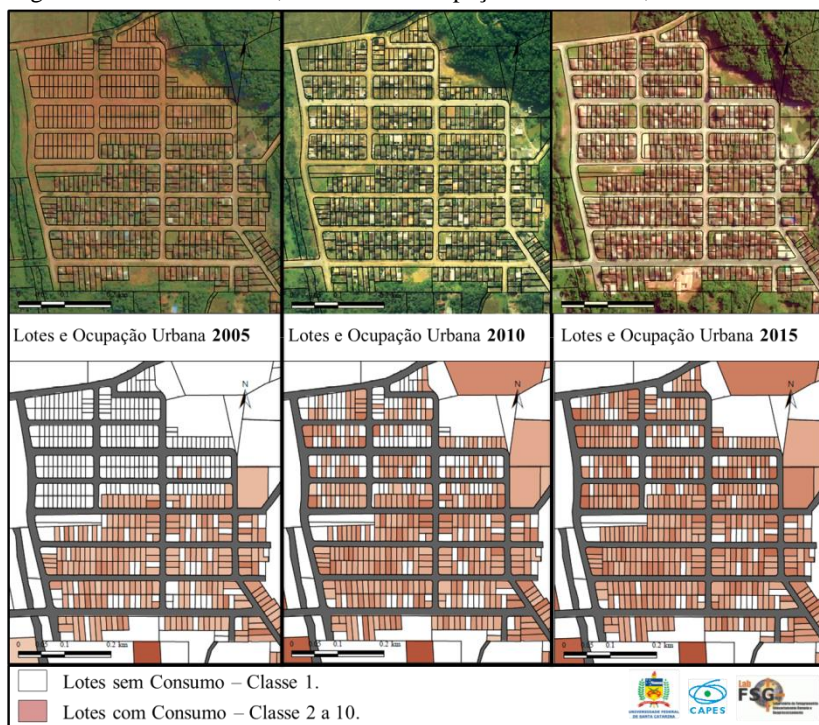
Esta hipótese nasce da consideração de como foram produzidos os dados de consumo, considerando-se que o mínimo consumo faturado (segundo companhia de Água) é de 10 m<sup>3</sup>, o que significa que cada consumo anual utilizado é a média das leituras durante o ano. Por exemplo, quando recém ligados à Rede, os lotes apresentam alguns meses com consumo nulo (sem ligação) e outros com o consumo mínimo faturado (10m<sup>3</sup>), quando se trata de uma residência. Portanto o consumo médio desse ano será menor do que 10m<sup>3</sup>, podendo entrar na classificação de lotes tipo Classe 2 ou 3. Ou seja, lotes de classe 2 e 3

têm grandes probabilidades de terem o uso de tipo residencial unifamiliar por demandar de consumos mínimos.

### 6.1.1 Crescimento Urbano: Expansão das demandas

Como parte da argumentação da diminuição da quantidade de lotes de classe 1 no ano 2015, e o indício de tratar-se de uma expansão da ocupação urbana, a Figura 58 contrasta as imagens aéreas do território nesses períodos (2005, 2010 e 2015) e o cadastro de demanda de Água Potável por lote. Esta informação das demandas se apresenta em escala de cores nos lotes com consumo, simplesmente com a finalidade de se poder distinguir os lotes com e sem consumo, que retratam a ocupação nesse setor do bairro.

Figura 58 - Lotes Urbanos, Consumo e Ocupação do ano 2005, 2010 e 2015.



Fonte: O autor (2016), Prefeitura de Joinville e Google Earth.



As imagens georreferenciadas apresentam as zonas de ocupação urbana ao nordeste do bairro, onde se manifesta claramente o processo de expansão e, com o cadastro de Água Potável, pode-se acompanhar essas dinâmicas, neste caso quando se trata de novas ocupações do território.

Este setor do bairro está conformado por aproximadamente 500 lotes cadastrados no ano 2015. No caso do 2005, este setor tinha aproximadamente um consumo médio de  $2.700\text{m}^3$  e somente 200 lotes ocupados, já no ano 2010 era  $5.200\text{m}^3$  de consumo e 350 lotes ligados, e finalmente, para o ano 2015 o consumo aproximado ascendia a  $7.500\text{m}^3$  e mais de 425 lotes ligados ao serviço de Água Potável. Descrevendo um aumento de 180% no consumo e 125% nos lotes com novas ocupações em 10 anos. Sendo esta parte do bairro um entre os vários exemplos de expansão existentes.

### **6.1.2 Crescimento Urbano: Casas Geminadas**

As casas geminadas são um fenômeno em expansão nos últimos anos no bairro Vila Nova. As motivações da construção desta categoria de edificações residenciais podem ser diversas, desde o crescimento populacional, a pressão imobiliária, o valor do solo, os incentivos dos organismos governamentais para acesso à casa própria, as ofertas bancárias no financiamento do imóvel, até as mudanças da legislação municipal para permiti-la.

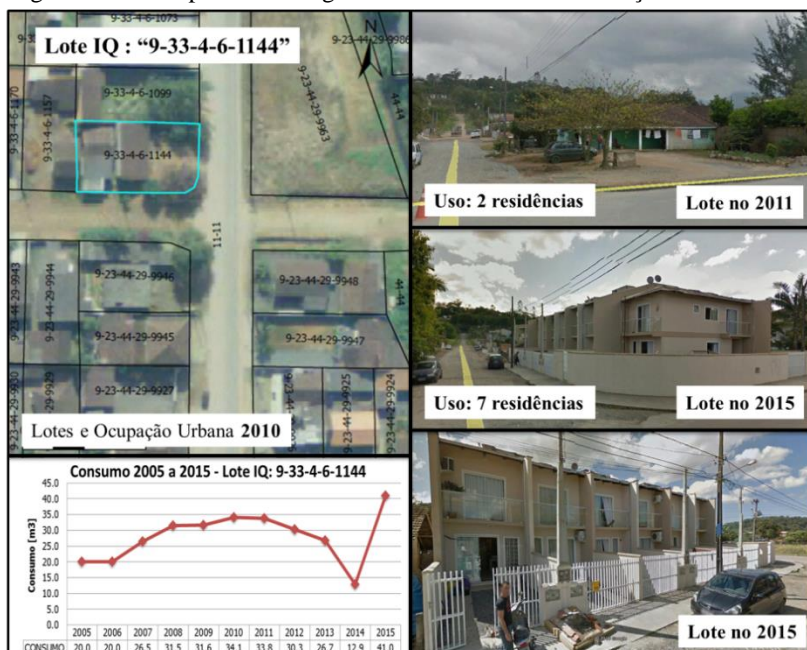
Nesse sentido, a Lei Complementar N° 312/2010, que atualiza as Normas de Parcelamento, Uso e Ocupação de solo do município de Joinville, refere-se às casas geminadas no Art. 182G como edificações que possuam pelo menos uma parede divisória em comum, podendo agrupar duas ou mais unidades. O Anexo III da Lei classifica e diferencia às casas geminadas em:

- R1.2: Residência unifamiliar, casa geminada paralelo ao alinhamento predial;
- R2.1: Residencial multifamiliar, casa geminada transversal ao alinhamento predial.

Em relação às demandas da rede de infraestrutura e sua relação direta com o aumento da ocupação devido às casas geminadas, na Figura 59 se apresenta um exemplo do que ocorre nos lotes urbanos alcançados por estes projetos.



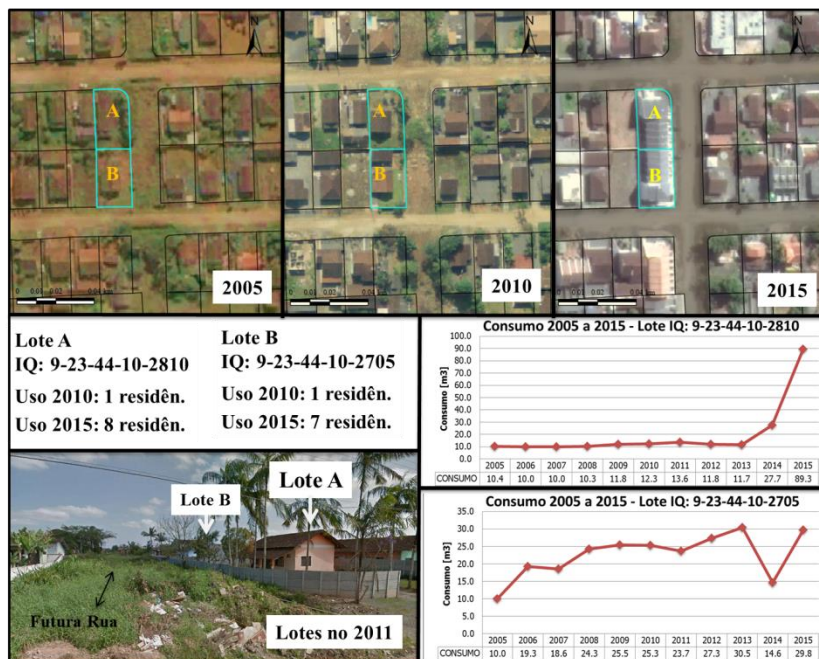
Figura 59 - Exemplo de Casas geminadas e demanda do serviço na Vila Nova.



Fonte: O autor (2016), Prefeitura de Joinville e Google Earth.

A Figura 59 mostra que no ano 2011 o lote contava com 2 residências, já no ano 2015 a construção das casas geminadas encontrava-se finalizada e habitada. Analisando os consumos desses períodos, nota-se que no ano 2005 e 2006 havia uma média de  $20\text{m}^3$ , que logo foi acrescentando-se numa média de  $30\text{m}^3$ , talvez pelo aumento de moradores até 2013. No ano 2014 se verifica uma queda no consumo para  $12,9\text{m}^3$ , que tem relação com o período de construção das casas (corroborado por fotointerpretação). No período de 2015, exibe-se um considerável incremento do consumo médio lote a  $41\text{m}^3$ , por conta de estar sendo utilizado pelos novos moradores.

Figura 60 - Exemplo de Casas geminadas e demanda do serviço em Vila Nova.



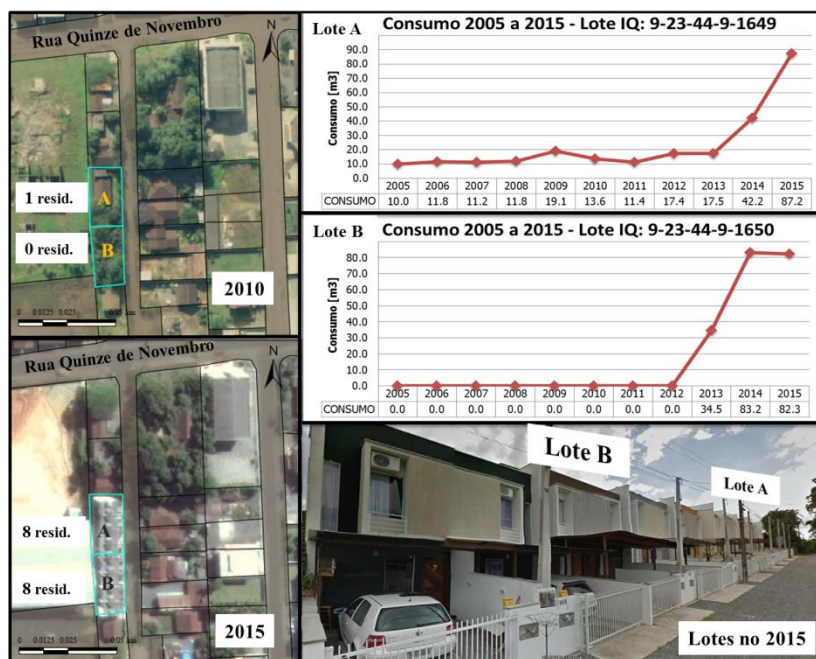
Fonte: O autor (2016), Prefeitura de Joinville e Google Earth.

Outro exemplo são os lotes A e B da Figura 60, que evidenciam, primeiramente, a incidência da ampliação da rede viária na zona analisada, aumentando o perímetro de acesso ao lote. Essa maior acessibilidade agrega valor do solo e possibilita a construção de casa geminada paralelamente ao alinhamento predial, dando saída direta de cada casa à rua.

Nos dois casos se comprova um aumento da demanda do serviço de água, ao mesmo tempo em que um lote com um único uso residencial passou a ter de sete residências (no caso do lote B) a oito (no caso do lote A). Nesse sentido, o lote A mostra um consumo médio anual constante até o ano 2013. Já no período 2015, apresenta um consumo de  $89,3\text{m}^3$ , demonstrando sinais de uma ocupação plena das oito casas geminadas.

Do mesmo modo, os lotes A e B da Figura 61 evidenciam um aumento de consumo no ano 2015, coincidente com as novas construções nos lotes, com a particularidade de que os lotes encontram-se a menos de 100m da Rua Quinze de Novembro, eixo viário principal do bairro, sendo uns dos poucos lotes com esta característica próxima à via principal.

Figura 61 - Exemplo de Casas geminadas e demanda do serviço em Vila Nova.

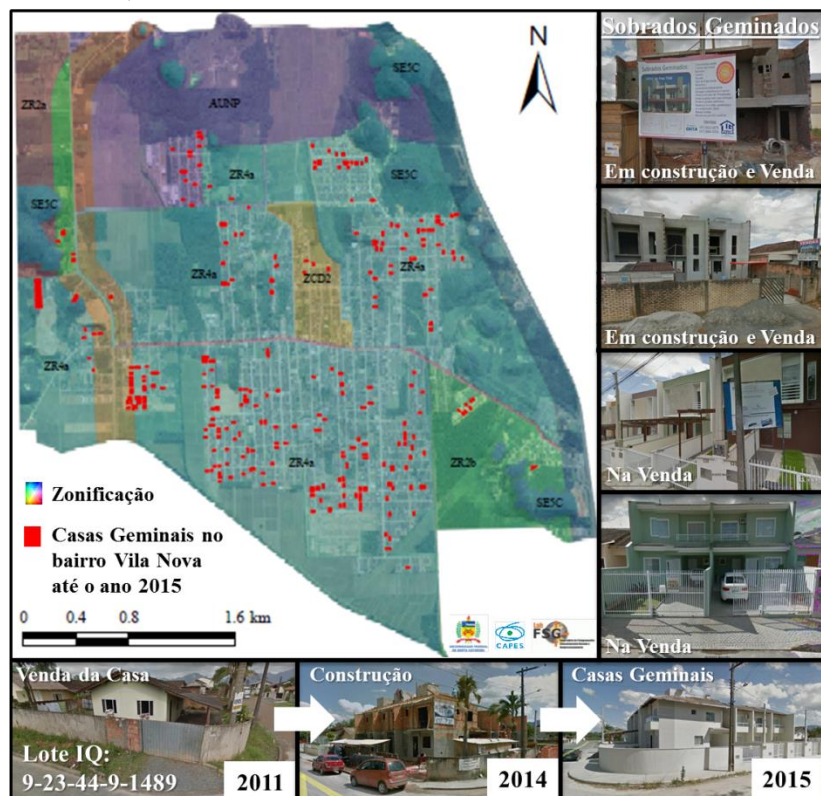


Fonte: O autor (2016), Prefeitura de Joinville e Google Earth.

Como se verifica nos diferentes exemplos, os lotes com uma residência pertenciam a uma categoria de consumo Classe 3 ( $5,01\text{m}^3$  a  $10\text{m}^3$ ) ou 4 ( $10,01\text{m}^3$  a  $15\text{m}^3$ ) e, após a construção das casas geminadas, passaram a acomodar, por exemplo, oito residências, pertencendo então à categoria de consumo Classe 8 ( $50\text{m}^3$  a  $100\text{m}^3$ ).

No Anexo IV da L.C. N°312/2010, que determina os Usos Admitidos e Índices Urbanísticos para cada zona da área urbana de Joinville, permite-se a construção de casas geminadas nas zonas ZR4a, ZR2b, ZCD2, ZR2a e AUNP, entre outras, que coincidem com as áreas onde estão as casas geminadas no bairro Vila Nova, tal como se mostra no mapa da Figura 62.

Figura 62 - Mapa da distribuição de Casas Geminadas e Zoneamento (L.C. n°312/2010) no bairro.



Fonte: O autor (2016), Prefeitura de Joinville e Google Earth.

Por meio do levantamento em campo, com o apoio da fotointerpretação e da base de dados de Usos de Solo da prefeitura, se quantificaram os lotes que têm casas geminadas em construção ou já sendo habitadas. Sendo assim, até o final do ano de 2015, foram contabilizados 306 lotes que se ajustam a esta modalidade de edificação.

Esse número final de lotes com casas geminadas representa aproximadamente 4% dos lotes do bairro, e resultam em uma demanda de água potável maior do que 6% ( $7.320\text{m}^3$ ) em relação ao consumo total do bairro no período de 2015. Esses mesmos lotes, no ano de 2005, somavam um consumo total de 2,1% ( $1.353\text{m}^3$ ) em relação ao total desse período (tabela 5).

Tabela 5 - Relação de Consumos de Água e quantidade de lotes com casas geminadas.

Relação Consumo x Lote		Total	Representa do Total
Edif. Gemin. 2015	306 Lotes	7.821 Lotes	4,0 %
Consumo 2005	$1.353\text{m}^3$	$64.619\text{m}^3$	2,1%
Consumo 2015	$7.320\text{m}^3$	$121.876\text{m}^3$	6,1%

Fonte: O autor (2016).

Na Figura 62 são apresentados alguns dos processos de ocupação que o lote sofre devido a estes novos empreendimentos imobiliários que, em sua maioria, estão espalhados nas diferentes zonas do bairro. Nota-se um afastamento destas edificações em relação ao eixo principal, o que pode estar associado com um menor preço dos terrenos quanto mais distante se está desta via (Rua XV de Novembro).

Ainda na Figura 62, nas imagens referentes ao lote iq: “9-23-44-9-1489” (IQ - Código de Inscrição Imobiliária), Percebe-se a venda da casa unifamiliar no ano de 2011, a construção da nova edificação edificação por parte do novo proprietário no período 2014 e, por fim, no ano de 2015, as casas geminadas com seis unidades prontas para serem vendidas ou alugadas.

Em resumo, a partir do exposto, percebe-se, a relação direta que existe entre este tipo de edificações residenciais, as redes viárias, as redes de serviço básico e a legislação municipal. Neste contexto, é importante levar em consideração as redes de serviço de infraestrutura, sua capacidade de fornecimento em quantidade e qualidade no momento de planejar e criar as leis que permitem este tipo de intervenção nas áreas urbanas, gerando novas configurações de Ocupação, que necessariamente precisam de outros elementos para seu funcionamento. Nesta direção, questiona-se se a demanda do serviço será garantida em médio ou longo prazo caso a companhia de Água não faça um grande investimento na infraestrutura de redes e planta de tratamento d’ água.

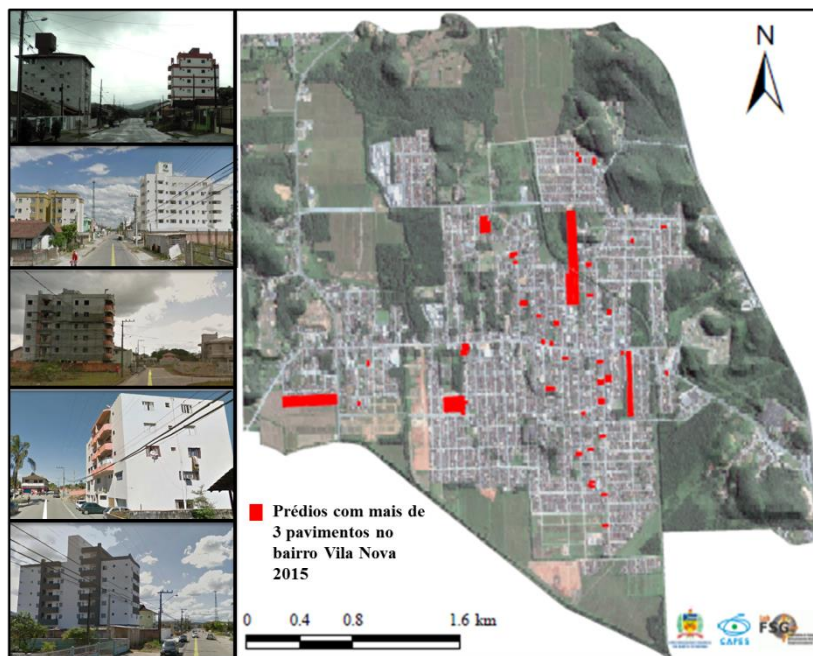


### 6.1.3 Crescimento Urbano: Verticalização

O crescimento de prédios de mais do que três pavimentos e seu impacto nas redes de serviço de infraestrutura é maior que o caso de casas geminadas, visto que, neste caso, tem-se um aproveitamento do lote superior, o que leva a projetar-se um elevado adensamento populacional e de demandas.

Conforme indicado no Anexo IV de “Quadro de Usos Admitidos e Índices Urbanísticos” da L.C. nº312/2010, o número máximo de pavimentos permitidos para as edificações é determinado em função das zonas de Uso. Segundo a Figura 62, no bairro Vila Nova, as zonas em que se encontram estas edificações são a ZR4a, que permite a construção de 6 pavimentos de uso residencial, comercial, institucionais e serviços, enquanto a zona ZCD2 permite a construção de 8 pavimentos com finalidade de uso residencial, comercial, institucionais e serviços.

Figura 63 - Mapa da distribuição dos Prédios com mais de três pavimentos.



Fonte: O autor (2016), Prefeitura de Joinville e Google Earth.

Na Figura 63 se consegue enxergar os lotes com prédios de altura, na qual, sua maioria é de uso residencial, tendo alguns casos de Usos mistos com comércio por encontrar-se sobre Rua Quinze de Novembro. O número total de lotes contabilizados no bairro foram 44, apresentando consumos dos mais diversos, sendo grande parte destes edifícios de apartamentos pertencentes à categoria de consumo Classe 9 ( $100,01\text{m}^3$  e  $500\text{m}^3$ ), Com a exceção dos condomínios que superam amplamente este intervalo de consumos.

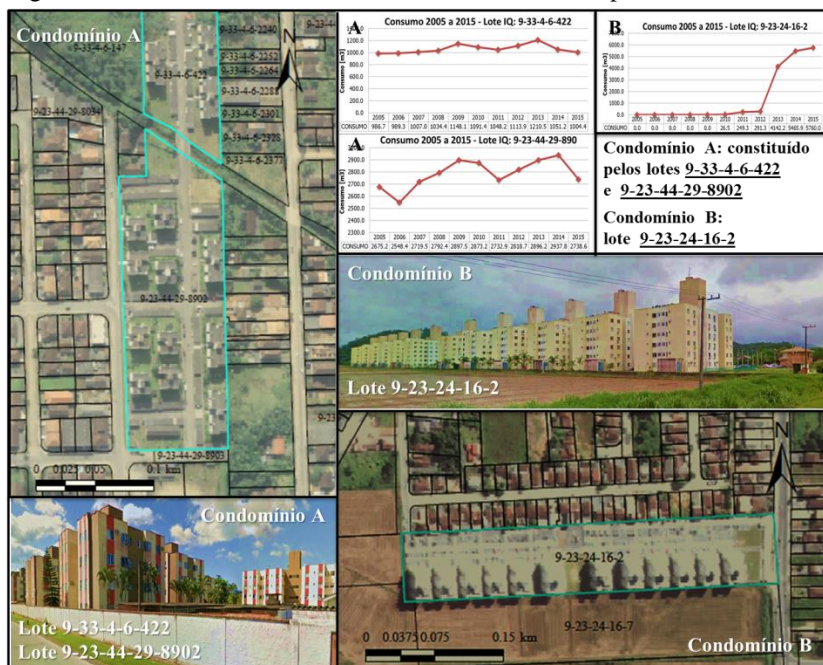
#### **6.1.4 Crescimento Urbano: Condomínios**

No bairro Vila Nova existem várias edificações de conjuntos residenciais fechados, privativos ou sob a forma de condomínios. O Título IV da L.C. nº312/2010 especifica os requisitos para sua construção, como usos admitidos, índices urbanísticos, sistema de vias, infraestrutura, entre outros, que variam conforme o local.

A lei explicita como conjuntos residenciais, comerciais ou industriais fechados, privativos ou sob forma de condomínios, edificações de duas ou mais habitações unifamiliares (R1) e/ou habitações multifamiliares (R2) e/ou atividades econômicas do nível C (comércio), S (serviço) ou I (indústria) em um único lote, não havendo processo de parcelamento do solo, porém exigindo-se ocupação com implantação de infraestrutura urbana e abertura de vias de acesso.

Observando a evolução das ligações dos lotes à rede de infraestrutura apresentada anteriormente na Figura 57, se observa na classe 10 (maior a  $500\text{m}^3$  de consumo) a existência unicamente de dois lotes no período 2005, precisamente, esses lotes correspondem aos condomínios “A” da Figura 64, que foram construídos na década de 1980 com um único acesso. Conformados por 6 edifícios no lote 9-33-4-6-422, e por 14 edifícios no lote 9-23-44-29-8902, todos eles com 4 pavimentos, somando um total de 320 apartamentos residências. Com relação ao consumo, a média anual da demanda mensal do serviço de água potável gerado pelos 20 edifícios do condomínio “A” entre os anos de 2005 e 2015 corresponde a  $3.850\text{m}^3$ .

Figura 64 - Condomínios residenciais fechados de maior capacidade.



Fonte: O autor (2016), Prefeitura de Joinville e Google Earth.

Com relação ao condomínio “B” (Figura 64), conformado por 12 edifícios de 6 pavimentos, somando um total de 576 apartamentos instalados no lote 9-23-24-16-2, que antigamente foi terra destinada à lavoura de arroz, verifica-se o gráfico de consumo a partir do ano 2010, quando surge a demanda do serviço de água, por conta da construção. Os períodos entre 2014 e 2015 apresentam consumos semelhantes devido à ocupação residencial, de  $5.465,9\text{m}^3$  e  $5.760,0\text{m}^3$  respectivamente.

O consumo dos condomínios “A” e “B” no último período de informação (2015), corresponde ao total de uma demanda equivalente a  $9.503\text{m}^3$ . Valor que no ano 2005 foi de  $3.662\text{m}^3$  (somente Condomínio A). Assim, os dois conjuntos residenciais, que somam um total de 896 residências, representam 5,7% no ano 2005 e 7,8% no ano 2015 da demanda total do bairro (Tabela 6), demonstrando uma incidência significativa do condomínio “B” na utilização da rede de infraestrutura de água.



Tabela 6 - Incidência dos maiores condomínios de Vila Nova no Consumo de Água do bairro.

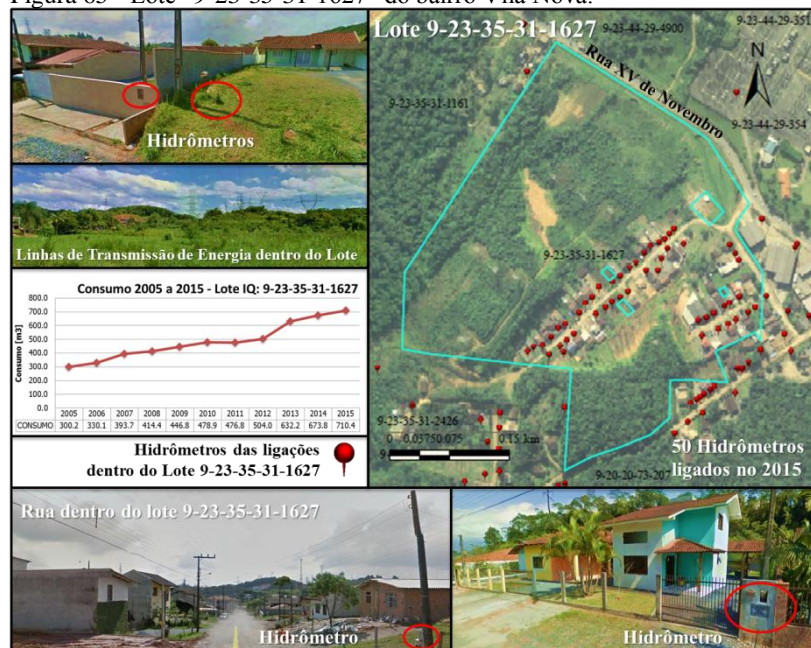
Período de Consumo	Parcial	Total do bairro	Representa do Total
Consumo 2005	3.662m <sup>3</sup>	64.619m <sup>3</sup>	5,7%
Consumo 2015	9.503m <sup>3</sup>	121.876m <sup>3</sup>	7,8%

Fonte: O autor (2016).

### 6.1.5 Crescimento Urbano: desatualização

O Lote “9-23-35-31-1627”, se localiza no ingresso ao bairro, pela rua XV de Novembro (Figura 65), com uma área de 13,9 hectares. Existem mais de 50 hidrômetros cadastrados e ligados da companhia Águas de Joinville que fornecem o serviço às residências que estão distribuídas ao longo das ruas internas do lote. Além disso, ainda há quatro lotes isolados dentro do lote 9-23-35-31-1627, onde seus logradouros de acesso não são reconhecidos oficialmente, não havendo assim, o direito à acessibilidade legal destas propriedades.

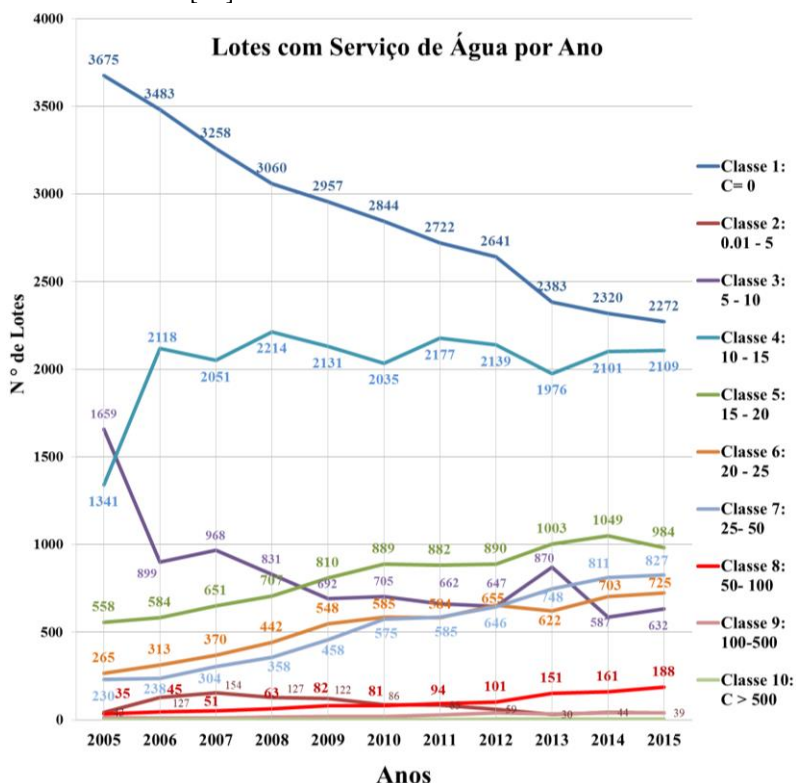
Figura 65 - Lote “9-23-35-31-1627” do bairro Vila Nova.



Fonte: O autor (2016), Prefeitura de Joinville e Google Earth.

Em relação ao consumo, considerando que todos os hidrômetros estão registrados no mesmo lote, o gráfico da Figura 65 mostra um crescimento do consumo total nos 10 anos de análises. A demanda passou de  $300\text{m}^3$  em 2005 para  $710\text{m}^3$  em 2015, com a particularidade que no ano 2005 havia somente 29 ligações e no ano 2015 havia 50 ligações cadastradas, o que evidencia uma média de  $10,4\text{m}^3$  por ligação em 2005 e  $14,2\text{m}^3$  em 2015. Ou seja, houve um crescimento das conexões na rede, mas também houve um aumento do consumo médio por unidade.

Figura 66 - Evolução das Ligações dos lotes à Rede de Infraestrutura segundo a classe de consumo [ $\text{m}^3$ ].



Fonte: O autor (2016).

Em conclusão, a relação entre o crescimento urbano e a demanda da rede de infraestrutura apresentada, tem como objetivo mostrar os comportamentos ou hábitos de uso do serviço básico, em particular a

água, ligados a um tipo de destino ou Uso do Solo do lote cadastral e compreender como estes se vinculam com uma classe de serviço ao longo do tempo, tornando assim possível prever certas mudanças no futuro imediato.

Como foi mencionado no começo do capítulo, ao observar a Figura 66, constata-se que reduziu o número de lotes vazios ou sem consumo. Em compensação, como estamos analisando sob a perspectiva da mesma quantidade de lotes para todos os períodos, o número de lotes das classes 5, 6, 7 e 8 tem aumentado. Este crescimento, que tem relação com as características, por exemplo, das casas geminadas, o que quer dizer que o lote mudou de unifamiliar para multifamiliar. Também existe um incremento, em menor medida, na Classe 8 ( $50,01\text{m}^3$  a  $100\text{m}^3$ ), produto das novas tipologias de edificações, com um maiores índices construtivos (coeficientes de aproveitamento do lote e taxa de ocupação).

## 6.2 PROJEÇÃO DAS DEMANDAS À REDE DE INFRAESTRUTURA

A projeção das demandas significa a estimativa dos cenários futuros de consumos, uso do serviço, mudanças, ou evolução do comportamento dos usuários com relação ao serviço, com a finalidade de compreender esses padrões de conduta. Como se mostrou no item anterior, as condutas dos usuários, representados pelos lotes cadastrais nos quais estão inseridos os hidrômetros, em relação ao consumo do serviço de água, depende de múltiplas variáveis que permitem evidenciar, na visão geral do bairro, alguns padrões ligados à classe específica de consumo, tipo de uso de solo, distância aos eixos principais e legislação urbana vigente.

### 6.2.1 Áreas com Potencial de Crescimento

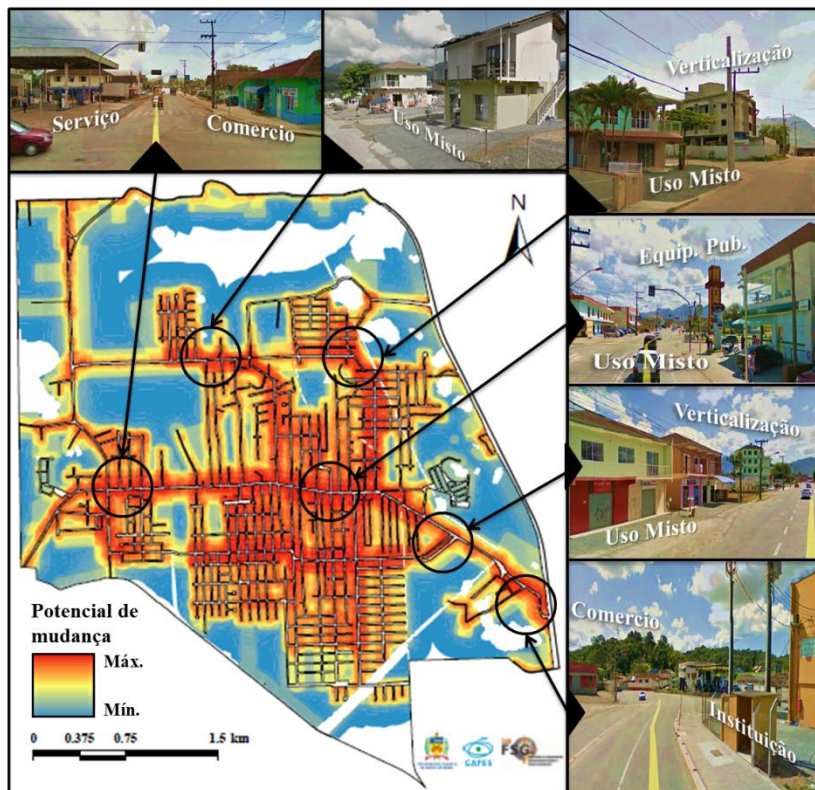
Nas análises da projeção dos cenários existem dois elementos importantes para ressaltar: os processos vinculados com a variável dependente e os relacionados com as variáveis independentes. Nesse sentido, os mapas resultantes da Avaliação Multicritério, pertencentes às variáveis independentes ou descritivas, permitiram mostrar as áreas do bairro mais aptas ou com maior potencial para mudanças das demandas do serviço.

Estas áreas com maior potencial, são fruto da união por meio dos algoritmos das quinze variáveis envolvidas, destacam as zonas onde a probabilidade de mudanças é maior. Estas mudanças, associadas ao crescimento urbano, estão diretamente vinculadas com as atividades que o homem desenvolve nestas áreas.

As atividades desenvolvidas pelo homem são diversas em relação às incidências que têm as demandas do serviço de água, e não se limitam unicamente ao crescimento residencial, também existe um aumento das atividades comerciais e de serviços.

O que se pretende mostrar na Figura 67 são corredores de uso comercial coincidentes com o mapa resultante da avaliação multicritério, que exibem maior potencial de aumento do consumo de água potável. No levantamento de campo, percebeu-se grande

Figura 67 - Localização dos setores com Potencial de aptidão de crescimento.



Fonte: O autor (2016) e Google Earth.

quantidade de lotes com uso misto, ou seja, residências com comércio e também serviços, instituições, equipamentos públicos, etc.

### **6.2.2 Projeção das demandas do serviço**

Da mesma forma, com relação à variável dependente da projeção dos cenários, podemos dizer que os resultados dos mapas produzidos pelos algoritmos baseados em Autômato celular e Cadeia de Markov expressam uma evolução crescente da categoria de consumo nas áreas com maior potencialidade de mudanças.

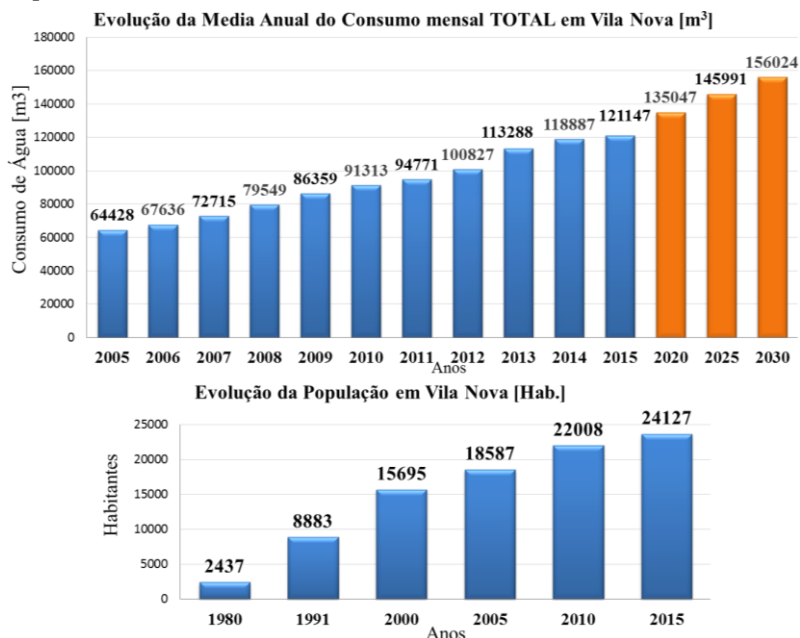
Sendo assim, a projeção evidencia um aumento da demanda do serviço, ação que foi corroborada como real no período em que se têm informação (2005 a 2015). Quer dizer, temos um exemplo claro de como a legislação de 2010, entre outros fatores, que passou a permitir a construção de edificações geminadas, que gera uma migração de consumos unifamiliar a multifamiliar nos lotes envolvidos. Traduzindo-se esta informação em valores numéricos, transformou-se o consumo da Classe 1, 2 e 3 às Classes 6, 7 e 8 a partir desta data.

De modo geral, considerando que o Vila Nova trata-se de um bairro urbano de caráter predominantemente residencial, constituído em seus eixos viários por áreas mistas com comércio, serviço, equipamentos públicos e outros, a evolução das demandas à rede de infraestrutura básica pode ser considerada em sua maioria, para fins residenciais.

Nesse sentido, a Figura 68 apresenta a evolução dos consumos do serviço de água no bairro, Adicionando-se a projeção dos consumos elaborados para os anos 2020, 2025 e 2030. Além disso, demonstra-se a evolução populacional dentro do bairro, valores estes que também são crescentes no tempo.

Fazendo uma comparação das evoluções, certamente subjetiva, a média anual do consumo mensal é utilizada na pesquisa para referir-se ao consumo médio que teve um lote num período de 12 meses, o que significa que o gráfico está representando a média do consumo mensal de todo o bairro num período de um ano.

Figura 68 - Evolução e projeção do consumo de água e a Evolução Populacional do bairro Vila Nova.



Fonte: O autor (2016).

Assim, o consumo exibido no ano de 2005 ( $64.428\text{m}^3$ ), em relação exibido no ano de 2015 ( $121.147\text{m}^3$ ), evidencia um aumento da média anual do consumo de 88%. Do mesmo modo, se compararmos a população do bairro no ano de 2005 (18.587hab.), em relação à do ano de 2015 (24.127 hab.- Taxa de Cresc. Média do IBGE no Joinville), observa-se um incremento de 29,8% da população. Isto significa que o aumento do consumo foi maior quando comparado com a população no mesmo período.

Este resultado gera diversas interpretações. A primeira é que está havendo uma mudança dos usos do bairro, deixando de ser estritamente residencial e passando a incorporar usos mistos ou usos exclusivos de serviço, comércio e/ou indústria nos polos concentradores. Isto significa que, nem sempre o incremento das demandas dos serviços básicos é proporcional ao aumento populacional, inclusive quando se trata de bairros com caráter residencial.

Outra discrepância que aparece entre as diferenças de crescimento de consumo e população, é que a taxa média de crescimento

populacional utilizada para o período 2010-2015 ( $t=1,86\%$ ) em Joinville não contempla fatores de grande importância que acontecem em bairros periféricos, como por exemplo em Vila Nova, onde se observa uma migração interna devido às casas geminadas e aos grandes condomínios construídos no ano 2013 (exemplo do Condomínio “Vila Germânica” com capacidade para 576 apartamentos). Este fator induz a concluir que a população no ano 2015 deveria ser maior que a projetada com as taxas de crescimento do IBGE. Ou seja, o consumo dos anos 2014 e 2015 está mostrando o aumento populacional, que não se percebe com os macros indicadores.

Tabela 7 - Taxa de crescimento com relação ao período anterior do Consumo de Água.

Ano	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Consumo [ $m^3$ ]	64.428	91.313	121.147	135.047	145.991	156.024
Taxa de Crescimento		<b>41,7%</b>	<b>32,7%</b>	<b>11,5%</b>	<b>8,1%</b>	<b>6,9%</b>

Fonte: O autor (2016).

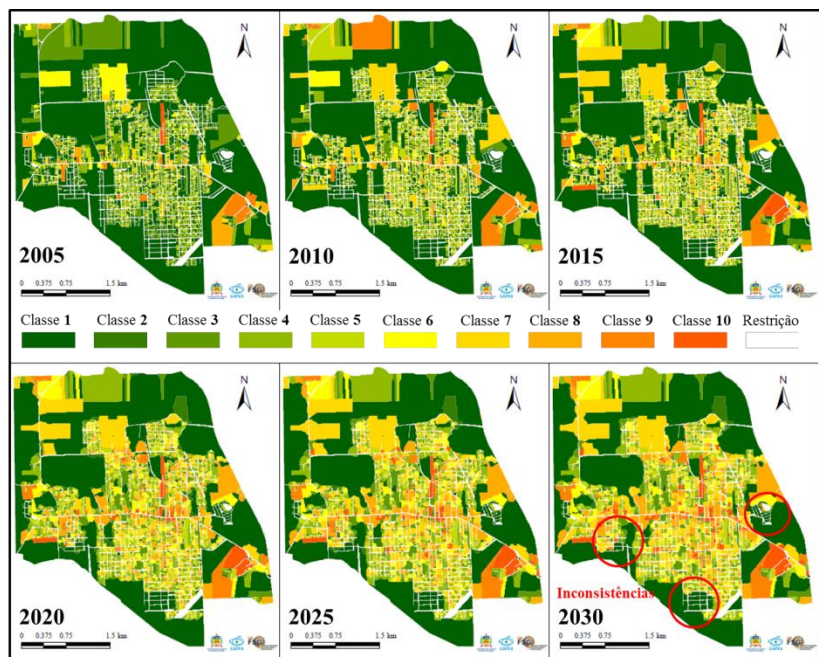
Quanto às imagens obtidas através do modelo dinâmico, as tendências de transformações e crescimento apresentados são como aceitáveis enquanto os valores quantificados para a diminuição da taxa de crescimento do consumo (Tabela 7) e a distribuição das categorias da demanda do serviço no espaço são razoáveis (Figura 69; ver APÊNDICE A, B, C, D, E e F).

Na Figura 69 (projeção para o ano de 2030) se destacam algumas inconsistências próprias do modelo devido aos filtros de contiguidade espacial do autômato celular adotado. A inconsistência exhibe áreas de loteamentos para uso residencial que não estão sendo prognosticados com demandas do serviço no modelo. Entretanto, a simulação mostrou resultados excelentes na área da mancha urbana, onde os lotes possuem proporção razoável em relação à ocupação (tamanho de lotes não superior a  $2.000m^2$ ).

Enfim, a predição estocástica baseada em Cadeia de Markov, os algoritmos de inteligência artificial de autômato celular e os fatores desenvolvidos pelas análises multicritério, que configuraram o modelo dinâmico empregado, permitem concluir que a ferramenta utilizada para prognosticar em quantidade e espaço as demandas que as redes de infraestrutura sofrem ao longo do tempo é adequada.



Figura 69 - Mapa real e projeção das categorias da media anual de consumo mensal de água potável.



Fonte: O autor (2016).

## 6.3 SISTEMA VIÁRIO

### 6.3.1 Estruturador do território e indutor de mudanças

O exemplo mais emblemático da intervenção do poder público na ampliação da rede viária observado no período de análise foi a interconexão da Rua XV de Novembro, Leopoldo Beninca, São Firmino e a SC-108 (Rota do Arroz), conformando um corredor para o tráfego veicular em sistema Binário (Figura 70), afim de melhorar a mobilidade no bairro.

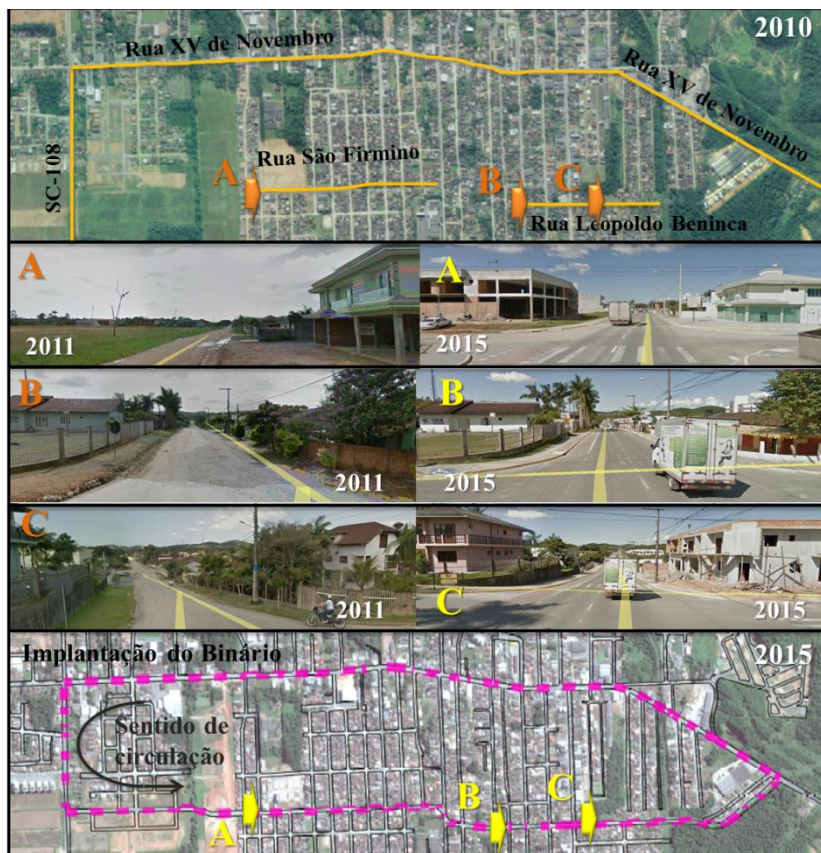
O binário permitiu estruturar o bairro com dois eixos viários Leste-Oeste, alterando a estrutura típica de vias de acesso aos bairros em forma de “Espinha de peixe”, que carece de vias auxiliares ou paralelas. Neste caso, certamente houve melhorias na mobilidade de forma geral, mas ainda há uma ausência de vias paralelas que auxiliem as ruas XV de



novembro, Beninca e São Firmino. Os sentidos de circulação em mão única, dificultam, as vezes, o acesso direto de dois pontos que encontram-se próximos.

O binário começou a funcionar plenamente no ano de 2014, configurando o sentido de circulação anti-horário, ou seja, na Rua XV de Novembro o fluxo veicular é Leste-Oeste, enquanto que nas Ruas São Firmino e Beninca o fluxo ocorre no sentido Oeste-Leste em direção ao Centro de Joinville (Figura 70). Essa alteração no sentido das vias, provocou mudanças na paisagem local, na testada dos lotes confrontantes a estas vias, interferiu no movimento do comércio e influenciou na valorização imobiliária destes eixos de conexão.

Figura 70 - Sistema Viário, implantação do Binário no bairro Vila Nova.



Fonte: O autor (2016), Prefeitura de Joinville e Google Earth.

A valorização do solo produz consequentemente o espalhamento das construções de residências multifamiliar, em procura de melhores preços do metro quadrado do lote. Por outro lado, as construções sobre a Rua Beninca e Firmino, tal como se mostra nas imagens, têm a característica de uso misto.

### **6.3.2 Área de incidência do Binário**

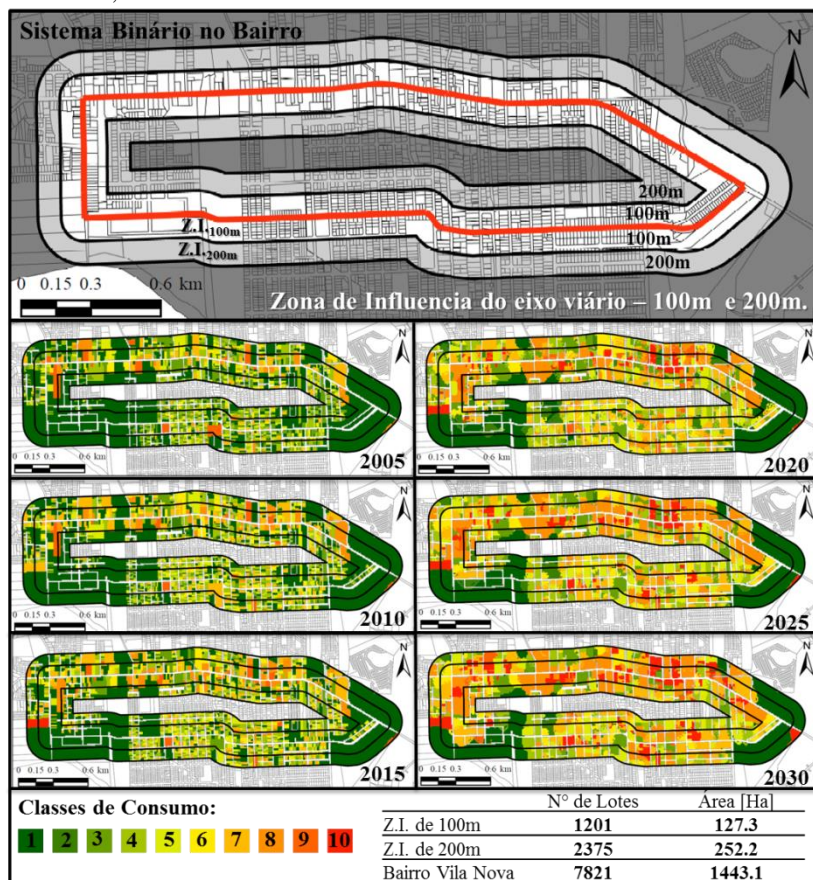
Como parte da análise da implantação do Binário no bairro Vila Nova, avaliou-se a relação entre a demanda do serviço de água e a distância existente lotes ao eixo viário. Esta informação se contextualizou no período de 2005 a 2015, com os dados reais de consumo médio, e de 2015 a 2030, com a informação das projeções foi elaborada através da modelagem dinâmica.

O objetivo desta análise é mostrar as feições das classes de consumo e a vinculação espacial. Os reflexos da implantação do sistema binário no seu entorno imediato são observados de forma mais expressiva a partir de 2014, quando estava efetivamente funcionando. Anteriormente a esta data, parte das vias já estavam interligadas e havia pressão imobiliária no crescimento do entorno das mesmas.

Para a análise foram consideradas faixas com distâncias Euclidianas ao Sistema Binário de 100m e 200m, conformando áreas no entorno das ruas, denominadas “zonas de influência”, onde se procedeu a avaliação das demandas da infraestrutura de serviço (Figura 71).

Com relação às áreas que ficam dentro da “zona de influência” do binário, a primeira, que distante a 100m, possui uma superfície de 127,3 Ha com 1201 lotes envolvidos, enquanto que a segunda, distante a 200m do eixo, tem uma área de 252,2 Ha e 2375 lotes, o que mostra uma relação Área-Lotes de  $1061\text{m}^2/\text{lote}$  para os dois casos. Os anéis concêntricos ao eixo viário de 100m e 200m têm a mesma proporção de lotes, permitindo assim, avaliar melhor a análise do consumo.

Figura 71 - Evolução do Consumo de água ao redor do sistema Binário em Vila Nova, Distância Euclidiana a 100m e 200m.



Fonte: O autor (2016).

Complementando-se os mapas da evolução do consumo de 2005-2030 na zona do binário, se anexou os gráficos (Figura 72) do crescimento do consumo no mesmo intervalo de tempo, com a particularidade que se relacionou com o consumo total de todo o bairro, permitindo enxergar as tendências de consumos.

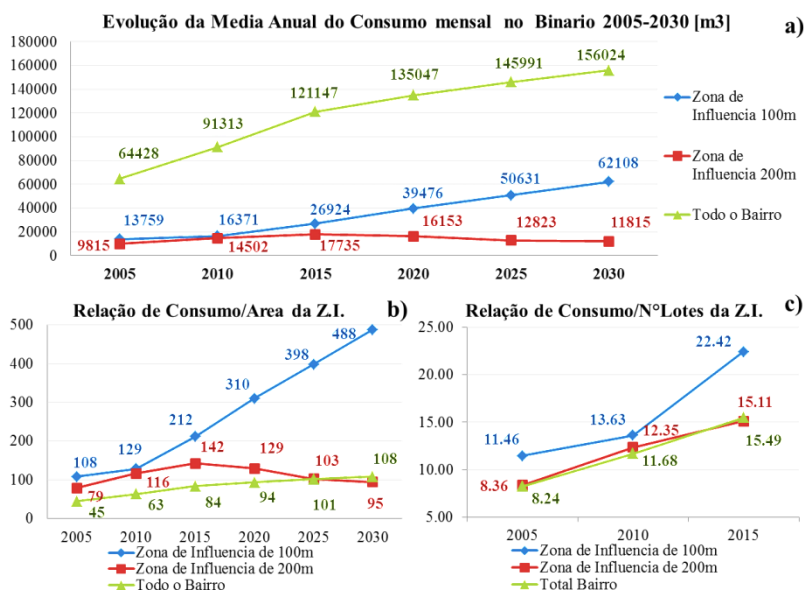
No período de 2015 (Figura 72-a) observa-se que zona de influência de 100m soma uma média anual do consumo mensal de 22,2% do total demandado no bairro, entretanto, o consumo na faixa de 200m foi somente 14,6% do total consumido no bairro. Ou seja,

praticamente a mesma quantidade de área em cada anel ( $Z.I._{100m} = 127,3\text{Ha}$ ;  $Z.I._{200m} = 252,2\text{Ha} - 127,3\text{Ha}$ ), mas a concentração do consumo dos lotes encostados ao binário são maiores.

A mesma análise para o período de 2010 evidenciou um consumo no anel de 100m de 17,9% e no anel de 200m de 15,9% em relação ao consumo total do bairro, apresentando resultados muito próximos. Esta informação comprova que entre os períodos de 2010 e 2015 houve um aumento no consumo nas áreas encostadas ao sistema binário na faixa dos 100m de distância, mais que na de 200m.

Os resultados que se observam na Figura 72-b mostram a relação do consumo (em  $\text{m}^3$ ) e da área de influência, podendo considerar-se um parâmetro de densidade de consumo. Deste modo se evidencia um crescimento maior da faixa dos 100m, apontando-se uma tendência ascendente nas projeções futuras.

Figura 72 - Evolução do consumo e o consumo relativo no Binário.



Fonte: O autor (2016).

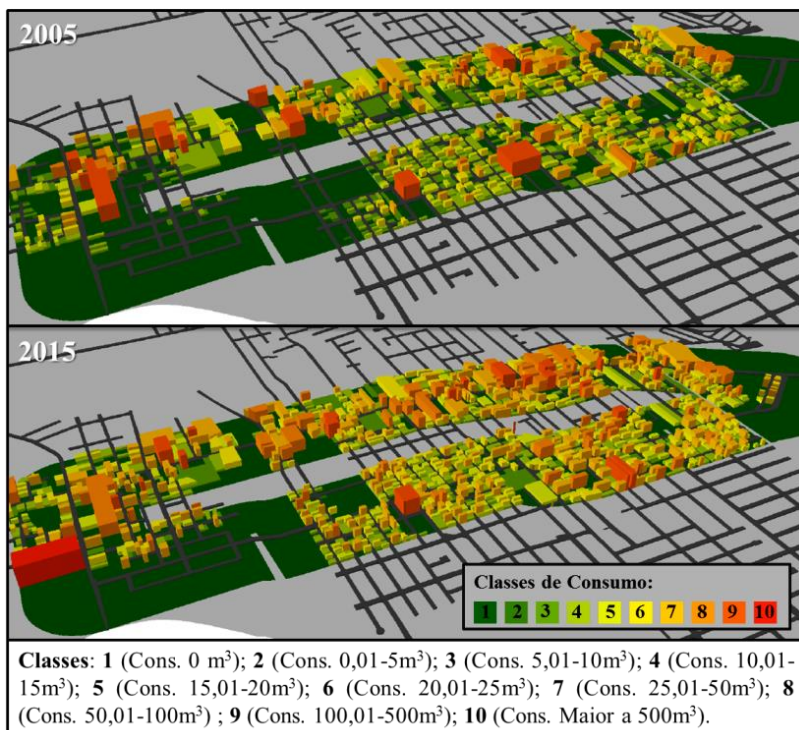
No que concerne aos consumos dos lotes envolvidos em cada anel (Figura 72-c) se consegue observar que o anel de 200m tem um comportamento similar à média do bairro, isto é, o consumo por lote da

área formada entre a distância euclidiana de 100m e 200m representa a média ( $\text{m}^3/\text{lote}$ ) do que acontece no bairro.

Enquanto isso, esta relação ( $\text{m}^3/\text{lote}$ ) na zona de influência de 100m é claramente maior que na de 200m, sendo no período de 2015 superior a 48% comparado com o consumo por lote no anel de 200m. Nesta direção, o índice do ano de 2015 é de  $22,42\text{m}^3/\text{lote}$  no Anel de 100m, enquanto serão de  $15,11\text{m}^3/\text{lote}$  no anel de 200m e  $15,49\text{ m}^3/\text{lote}$  na totalidade do bairro.

Na Figura 73, mediante a extrusão dos consumos dos lotes do ano 2005 e 2015, se pode perceber o aumento das demandas do serviço de água e também o adensamento da ocupação urbana. Também se observa como foram utilizados lotes que no ano de 2005 estavam vazios (sem consumo).

Figura 73 - Consumo dos lotes representado por extrusão 3D na Zona de Influência do Binário.



Fonte: O autor (2016).



Em resumo, o impacto que o sistema viário produz sobre o lote é determinante, gera mudanças no valor do solo, no uso ou destino, motiva o adensamento nas áreas próximas aos eixos principais, etc. Além disso, como consequência da dinâmica destes impactos, produz um crescimento nas demandas das redes de infraestrutura básica. Dito de outro modo, a melhora e a interconexão da rede viária do bairro conduzem a um fenômeno de crescimentos urbano e das demandas das infraestruturas.

## 7 CONCLUSÕES

O crescimento acelerado e pouco racional das cidades, somado à ocupação aleatória e ambivalente dos espaços urbanos, tem proporcionado uma maior complexidade ao entendimento das transformações espaciais, as quais dão conformação às feições do ambiente.

Nesse sentido, ao analisar a cidade a partir da perspectiva do cadastro técnico, é possível vê-la segmentada pela propriedade privada e a pública, assim, para compreender os motores das transformações urbanas pode-se começar pela análise do espaço físico de maneira fracionada.

Este fracionamento permite avaliar de forma separada o território, e conhecer o que acontece em cada parcela ou lote. Deste modo, pode-se entender ao crescimento urbano como o crescimento populacional, do uso, ocupação e aproveitamento do lote cadastral, além do crescimento das redes de infraestrutura, que basicamente se distribuem no espaço público ligando-se ao lote. Além disso, pode-se avaliar a coerência entre o aumento populacional e o aumento do consumo, bem como a sua coerência pontual entre lotes.

Consequentemente, os cadastros temáticos das instituições envolvidas no fornecimento das redes de infraestrutura auxiliam nas leituras das mudanças do lote, tornando multifinalitário o cadastro.

Conforme aos objetivos traçados, o método adotado, a área de estudo escolhida e os resultados obtidos, é possível afirmar, em termos globais, que as etapas da pesquisa forneceram resultados satisfatórios.

Em relação às ferramentas utilizadas na pesquisa (cadastro técnico multifinalitário, geotecnologias e modelo dinâmico), pode-se afirmar que as mesmas permitem representar e projetar as transformações devidas à expansão urbana do território.

A partir da correta ligação entre os cadastros setoriais da prefeitura de Joinville e da companhia Água de Joinville, a pesquisa forneceu grande parte dos fatores que explicam as transformações urbanas acontecidas. Estas transformações urbanas, aplicadas a um modelo dinâmico, condensaram tais mudanças no tempo, tendo-se como resultado padrões de mudanças. Como foi o caso das redes viárias, que como parte da rede de infraestrutura, demonstraram ter uma importante incidência na evolução do território, induzindo às mudanças do entorno e provocando alterações indiretas, principalmente do mercado do solo,

variável que não foi considerada na análise, mas representa algumas das ações lógicas da necessidade do mercado habitacional.

Considera-se que o método adotado foi satisfatório, com o axioma de que as demandas oscilantes desde os lotes, que sofrem as redes de infraestrutura, refletem as mudanças gerais do território, podendo ser mensuradas pelo cadastro, o que permitiu sustentar as premissas dedutivas.

Entretanto, o método foi disposto em várias etapas, nas quais se destacam primeiramente a utilização da informação cartográfica, estatística e alfanumérica, veiculada pelos sistemas de informação geográfica, que propicia grande parte dos resultados da pesquisa. Em segundo lugar, a utilização dos processos estocásticos de Cadeia de Markov, o modelo matemático de Autômato Celular utilizado como um sistema dinâmico que evolui a passos discretos, e os índices de validação Kappa, mostraram ser realmente úteis quando combinados com a análise multicritério na obtenção de simulação de mudanças e determinação de pontos emergentes de transição.

No que se refere à área de estudo, esta demonstrou ter feições acentuadas que auxiliaram no entendimento dos processos temporais dos fenômenos que acontecem em diferentes planos. Uma dessas feições interessantes do bairro foi a implantação do Binário, que criou uma nova via de acesso, mudando parcialmente a estrutura urbana típica de “espinha de peixe” e possibilitando ver as mudanças que rede viária traz. Outra característica, por sua vez apresentada pelo bairro Vila Nova, é o surgimento das casas geminadas somadas aos novos projetos de condomínios alimentados por áreas que ainda encontram-se na transição do rural para o urbano, com o acesso às redes de infraestrutura de serviços e a valorização do solo auspiciosa.

A aplicação do modelo que convergiu na simulação dos cenários envolveu várias etapas, como as ferramentas informáticas e bases de dados utilizadas, de modo que grande parte dos resultados obtidos são prévios ao modelo dinâmico, e permitiram mostrar as linhas de tendência de algumas das atividades que direcionam o crescimento e criam as feições da morfologia urbana do bairro.

Nesse sentido, na aquisição e processamento dos dados, os *softwares* Access e ArcGIS mostraram-se suficientemente versáteis na ligação das bases de dados dos diferentes cadastros setoriais utilizados. Com relação à manipulação da base de dados do cadastro de água potável, o processo estatístico e agrupamento dos resultados em intervalos de classes não uniformes possibilitaram fazer uma leitura



compreensível dos resultados entregados pelo modelo de simulação. Além disso, o *software* Idrisi mostrou-se uma ferramenta útil e ampla na modelagem dinâmica urbana, proporcionando diversos módulos de processos e validação dos mapas gerados, como também possibilidade de interação direta com os diferentes formatos de imagens e atributos que têm os SIGs.

Os resultados de todos os processos e aplicações feitas, o cruzamento das informações, mapas e critérios, permitiram demonstrar a relação direta do crescimento urbano com as demandas das redes de infraestrutura urbana, como são o serviço básico e a rede viária. Somando-se a isso, destaca-se a capacidade de se obterem prognósticos de futuras demandas que experimentará a população urbana, permitindo contribuir ao planejamento estratégico das áreas analisadas, e auxiliando como suporte na gestão territorial das instituições envolvidas nas redes de infraestrutura.

Finalmente, a principal contribuição desta pesquisa foi a vinculação das informações das diferentes instituições que dispõe um município para sua funcionalidade por meio da linguagem do cadastro técnico, logrando demonstrar multifinalidade dos dados que produz cada instituição em sua gestão territorial cotidiana. A informação que as instituições vinculadas às redes de infraestrutura geram com uma frequência temporária maior (mensal) e focada no lote, permite uma leitura contínua e confiável das mudanças e transformações que acontecem primeiramente no lote e marcam uma tendência ao crescimento urbano. Assim, a grande contribuição desta pesquisa consiste na utilização das leituras destes cadastros setoriais para a modelagem da dinâmica espacial, identificando-se os principais vetores do crescimento urbano e transformações do território.

Para futuros trabalhos nesta linha de pesquisa, e utilizando-se a mesma metodologia, é recomendado incorporar dados de outros cadastros setoriais das redes de infraestrutura urbana. Além disso, recomenda-se o prosseguimento do uso do lote cadastral como referência espacial, assim como introduzir, além das variáveis de proximidade às vias, demográficas e de infraestrutura básica, outros fatores determinantes do crescimento urbano e a expansão das redes de infraestrutura, como é a planta de valores do mercado imobiliário. Este fator é de grande importância nas áreas de expansão urbana, visto que retrata as demandas do mercado em função das oportunidades de desenvolvimento econômico, localização, acessibilidade, transporte,

infraestrutura disponível, etc. da área estudada, motivo pelo qual seria um fator importante a se considerar em futuras pesquisas.

## REFERÊNCIAS

ABDUL-RAHMAN, Alias; PILOUK, Morakot. **Spatial Data Modelling for 3D GIS**. Berlin: Springer, 2008. 291 p. Disponível em: <<http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-74167-1>>. Acesso em: 08 mar. 2015.

ALMEIDA, Cláudia Maria de. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento**: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP). 2003. 351 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.

ALMEIDA, Claudia Maria de; CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio Miguel V. (Org.). **Geoinformação em Urbanismo**: Cidade Real X Cidade virtual. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 368 p. Apresentação de Michael Batty.

AMORIM, Amilton; SOUZA, Guilherme Henrique Barros de; YAMASHITA, Marcelo Corrêa. CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO VIA INTERNET: um importante instrumento de apoio ao planejamento municipal. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 60, p.119-125, ago. 2008. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/33/34>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

ARAÚJO, Ester Luiz de. **Estimativa e Análise do Crescimento da Demanda De Água considerando cenários de Uso e Ocupação do Solo**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, 2012.

ARNDT, Lindsay Thais. **Sistema de Informações Geográficas para Mapeamento do Ruído Urbano**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2009.

BAENINGER, Rosana (Org.). **População e Cidades**: subsídios para o planejamento e para as políticas sociais. Campinas/SP: Campinas: Núcleo de Estudos de População-NEPO/Unicamp; Brasília: UNFPA, 2010. 304 p.

BARROS, Kelly de Oliveira. **Prognose do uso da terra em ambientes sujeitos à desertificação utilizando Cadeias de Markov e Autômatos Celulares**. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2012.

BENAVENTE, Francisco Aguilera. **Análisis espacial para la ordenación eco-paisajística de la aglomeración urbana de Granada**. 2008. 377 f. Tese (Doutorado) - Curso de Urbanismo, Ordenación del Territorio y Planificación Ambiental, Universidad de Granada, Granada/ Espanha, 2008.

BEHERA, Mukunda Dev et al. Modelling and analyzing the watershed dynamics using Cellular Automata (CA) - Markov model: A geo-information based approach. **Journal of Earth System Science**, Bangalore/India, v. 4, n. 121, p.1011-1024, ago. 2012. Indian Academy of Sciences.

BLACHUT, Teodor J. **Cadastre: various functions characteristics techniques and the planning of land record system**. Ottawa, Ca: National Research Council, 1974. 157 p.

BORGES, Raphael de Oliveira; SILVA, Rosane Amaral Alves da; CASTRO, Selma Simões de. Utilização da classificação por distância euclidiana no mapeamento dos focos de arenização no setor sul da alta bacia do Rio Araguaia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: SBSR, 2007. p. 3777 - 3784.

BRASIL. IBGE. **Joinville**. 2014. Elaborado por o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/233FF>>. Acesso em: 08 mar. 2015.

BREUNIG, Fábio Marcelo; MELLO, Leonardo Freire de. **Evolução da mancha urbana ao longo da rodovia dos tamoios (São José dos**

**Campos – Caráguatutuba) no período de 2000-2008:** Uma primeira abordagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS - ABEP, R, 17., 2010, Caxambú/MG. Encontro. Caxambú: ABEP, 2010. p. 1 - 13.

BRIASSOULIS, Helen. **Analysis of land use change:** theoretical and modeling approaches. 2000. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geography, University Of The Aegean, Lesvos/Greece, 2000.

Disponível em:

<<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em: 4 fev. 2016.

BRITO, João Paes Machado. **Apreciações e Reflexões sobre a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais.** 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.

BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A. **Principles of Geographical Information Systems.** Oxford: Oxford University, 1998. 333 p.

BURROUGH, Peter A. **GIS and Geostatistics: Essential partners for spatial analysis.** Environmental and Ecological Statistics, Utrecht, NL, v. 4, n. 8, p.361-377, jan. 2001. Mensual. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023/A:1012734519752>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

CABRAL, Pedro; ZAMYATIN, Alexander. Three Land Change Models for Urban Dynamics Analysis in Sintra-Cascais Area. In: EARSSEL WORKSHOP OF THE SIG URBAN REMOTE SENSING HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN, 1., 2006, Berlin. **EARSeL.** Berlin: Humboldt-universität Zu Berlin, 2006. p. 1 - 8. Disponível em: <<http://www.earssel.org/workshops/SIG-URS-2006/>>. Acesso em: 19 jan. 2016.

CALIJURI, Maria Lúcia et al. Caracterização da Fragilidade Ambiental Utilizando Sistema de Informações Geográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5., 2006, Florianópolis. **Anais VI Congresso Brasileiro de Cadastro**

**Técnico Multifinalitário.** Florianópolis: Cobrac, 2006. p. 1 - 11. CD-ROM.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** São José dos Campos: Inpe, 2004. 330 p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, José Simeão de (Org.). **Geoprocessamento para Projetos Ambientais.** 2. ed. São José dos Campos: INPE, 1998. 188 p. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/)>. Acesso em: 06 mar. 2015.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **SBSR.** Belo Horizonte: Sbsr, 2003. p. 1 - 142. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; MEDEIROS, José Simeão de. **Representações Computacionais do Espaço:** Um Diálogo entre a Geografia e a Ciência da Geoinformação. 2002. Divisão de Processamento de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI/INPE). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/epistemologia.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

CARNEIRO, Andrea Flávia Tenório. **Proposta de Reforma Cadastral visando a Vinculação entre Cadastro e Registro de Imóveis.** 2000. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

CASANOVA, Marco et al (Ed.). **Bancos de Dados Geográficos.** São José dos Campos: Inpe, 2005. 500 p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/bdados/capitulos.html>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

COHEN, Jacob. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational And Psychological Measurement**, New York, v. 20, n. 1, p.37-46, abr. 1960.

CUNHA, Egláisa Micheline Pontes; ERBA, Diego Alfonso (Org.). **DIRETRIZES PARA A CRIAÇÃO, INSTITUIÇÃO E ATUALIZAÇÃO DO CADASTRO TERRITORIAL MULTIFINALITÁRIO NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS**: Manual de Apoio. Brasília: Ministério das Cidades, 2010. 170 p. CD-ROM.

DALE, Peter F.; MCLAUGHLIN, John D.. **Land Information Management**: An Introduction with Special Reference to Cadastral Problems in Third World Countries. New York: Oxford University Press, 1990. 267 p.

DALMAS, Fabrício Bau. **Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos na UGRHI-11**: Ribeira de Iguape e litoral sul. 2008. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Minerais e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DOLE, Lenín Esaú Henríquez. **Escenarios Futuros de Uso de Suelo para el Análisis del Efecto del Cambio Global en los Recursos Hídricos aplicado al Acuífero de La Mancha Oriental**. 2012. 225 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos, Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de València, València/Espanha, 2012.

EASTMAN, Ronald. **IDRISI Selva**: Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Worcester/Massachusetts: Clark University, 2012. 321 p. Traductora: Lorena Mosca. CD-ROM.

EASTMAN, J. Ronald; JIANG, Hong. Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation. In: SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL ACCURACY ASSESSMENT IN NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL STUDIES, 2., 1996, Fort Collins/colorado. **Proceedings...** . Fort Collins/colorado: International Symposium On Spatial Accuracy Assessment In Natural Resources And Environmental Studies, 1996. p. 527 - 534.

ERBA, Diego Alfonso (Org.). **Sistemas de Información Geográfica aplicados a estudios urbanos**: experiencias latinoamericanas. Cambridge, Ma: Lincoln Institute Of Land Policy, 2006. 205 p. Disponível em: <[https://www.lincolninst.edu/pubs/1174\\_sistemas-de-Información-geográfica-aplicados-a-estudios-urbanos-experiencias-latinoamericanas](https://www.lincolninst.edu/pubs/1174_sistemas-de-Información-geográfica-aplicados-a-estudios-urbanos-experiencias-latinoamericanas)>. Acesso em: 01 fev. 2015.

ERBA, Diego Alfonso (Org.). **Catastro Multifinalitário**: Aplicado a la definición de políticas de suelo urbano. Cambridge, Ma: Lincoln Institute Of Land Policy, 2007. 448 p. CD-ROM.

ERBA, Diego Alfonso. **Congreso Nacional La Administración de Tierras y el Ordenamiento Territorial**: Quetzaltenango, Guatemala: Lincoln Institute Of Land Policy, 2011. 50 slides, color. Disponível em: <<http://es.slideshare.net/congresoatguate/5-el-catastro-herramienta-desarrollo-diego-erba>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

ERBA, Diego Alfonso. **El catastro territorial em América Latina y el Caribe**. Cambridge, Ma: Lincoln Institute Of Land Policy, 2008. 428 p. CD-ROM.

ERBA, Diego Alfonso. Latin American Cadastres: Successes and Remaining Problems. **Land Lines: Newsletter of the Lincoln Institute of Land Policy**, Cambridge, Ma, v. 2, n. 16, p.1-3, abr. 2004. Mensual. Disponível em: <[https://www.lincolninst.edu/pubs/dl/881\\_linc\\_landlines\\_4.04\\_final.pdf](https://www.lincolninst.edu/pubs/dl/881_linc_landlines_4.04_final.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2015.

ERBA, Diego Alfonso; OLIVEIRA, Fabricio Leal de; LIMA JUNIOR, Pedro de Novais (Org.). **Cadastro multifinalitário como instrumento da política fiscal e urbana**. Rio de Janeiro: Ministério das Cidades, 2005. 144 p. CD-ROM.

FERREIRA, Francisca Elizabeth. **Análise da rede viária, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, visando o planejamento da rede de transporte urbano por ônibus**: Um estudo de caso. 1992. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Engenharia de Produção e Sistema, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1992.



FRANCISCO, Carlos Eduardo da Silva et al. Espacialização de análise multicriterial em SIG: Prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis/SC. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: Sbsr, 2007. p. 2643 - 2650.

FUENTES-BARGUES, José Luis; FERRER-GISBERT, Pablo Sebastián. Selecting a small run-of-river hydropower plant by the analytic hierarchy process (AHP): A case study of Miño-Sil river basin, Spain. **Ecological Engineering**, Valencia/Espanha, v.85, p.307-316, dez. 2015.

GEISSLER, Helenne Jungblut. **Avaliação de Cenários de Inundações no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo Urbano**. 2012. 160 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

GOODCHILD, Michael F.. A spatial analytical perspective on geographical information systems. **Geographical Information Systems**, London, Ca, v. 1, n. 4, p.327-334, dez. 1987. Mensual. Disponível em: <<http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/95.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

GOUDARD, Beatriz. **Localização da Implantação de Unidades Básicas de Saúde Utilizando Lógica Fuzzy e Sistemas de Informação Geográfica**. 2014. 176 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

GRACIA, Maríá Teresa Lamelas. Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: aplicación a la localización de suelo industrial. **GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, Madrid/Espanha, v. 9, n. 1, p.28-66, set. 2009. ISSN: 1578-5157.

HABITAT II, 2., 1996, Estambul. **Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos**. Estambul: Naciones Unidas, 1996. 259 p. Disponível em:

<<http://www.un.org/es/development/devagenda/habitat.shtml>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

ITAMI, Robert M.. Simulating spatial dynamics: cellular automata theory. **Landscape And Urban Planning**. Melbourne, Austrália, v. 30, n. 1, p.27-47, dez. 1994.

JOINVILLE. Eduardo Gineste Schroeder. Secretaria de Planejamento e Coordenação (Org.). **Joinville Plano de Estruturação Urbana 1987: Análises e Recomendações**. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 1987. 172 p.

JOINVILLE. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE (IPPUJ). (Org.). **Joinville: Bairro a Bairro**. Joinville: Prefeitura Municipal, 2015. 106 p. Disponível em: <<https://ippuj.joinville.sc.gov.br/>>. Acesso em: 29 mar. 2015.

JOINVILLE. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE (IPPUJ). (Org.). **Joinville: Cidade em Dados**. Joinville: Prefeitura Municipal, 2015b. 106 p. Disponível em: <<https://ippuj.joinville.sc.gov.br/>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

JOINVILLE. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE (IPPUJ). (Org.). **Joinville: Cidade em Dados**. Joinville: Prefeitura Municipal, 2011. 194 p. Disponível em: <<https://ippuj.joinville.sc.gov.br/>>. Acesso em: 29 mar. 2015.

JOINVILLE. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE (IPPUJ). (Org.). **Joinville: Cidade em Dados**. Joinville: Prefeitura Municipal, 2013. 229 p. Disponível em: <<https://ippuj.joinville.sc.gov.br/>>. Acesso em: 29 mar. 2015.

JOINVILLE. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE (IPPUJ). (Org.). **Joinville: Cidade**

em Dados. Joinville: Prefeitura Municipal, 2014. 150 p. Disponível em: <<https://ippuj.joinville.sc.gov.br/>>. Acesso em: 29 mar. 2015.

JOINVILLE. Prefeitura Municipal de Joinville. Secretaria de Planejamento e Coordenação (Org.). **Joinville: Plano de Estruturação Urbana 1987**. Joinville: Prefeitura Municipal, 1987. 172 p. Disponível em: <<https://ippuj.joinville.sc.gov.br/>>. Acesso em: 08 mar. 2015.

JOINVILLE (Município). Constituição (1973). Lei nº 1262, de 1973. **Plano Diretor de Joinville**. Joinville, SC: Prefeitura Municipal de Joinville, 1973.

JUNQUEIRA, Juliana Reu. **Análise da evolução das áreas verdes urbanas utilizando séries históricas de fotografias aéreas**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

LAMBIN, Eric F. **MODELLING DEFORESTATION PROCESSES: A Review**. Luxembourg: European Commission, 1994. 128 p. (TREES SÉRIES B: Research Report nº1). EUR 15744 EN.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G.. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, n. 1, p.159-174, 1977.

LARSSON, Gerhard. **Land Registration and Cadastral Systems: Tools for Land Information and Management**. 2. ed. London: Longman Group Uk Limited, 1996. 175 p.

LOCH, Carlos. **Monitoramento Global Integrado de Propriedades Rurais: a Nível Municipal, utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1990. 136 p.

LOCH, Carlos; ERBA, Diego Alfonso. **Cadastro Técnico Multifinalitário: rural e urbano**. Cambridge, Ma: Lincoln Institute Of Land Policy, 2007. 142 p. CD-ROM.

LOCH, Carlos; OLIVEIRA, Roberto de; GREENBERG, Fernando Guajará. Avaliação temporal da Legislação cadastral brasileira. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO  
MULTIFINALITÁRIO, 10., 2012, Florianópolis. **COBRAC**.  
Florianópolis: Cobrac, 2012. p. 1 - 7. CD-ROM.

LOPES, Expedito Carlos. **Uma Abordagem para Modelar Fenômenos Espaço-Temporais**. 2002. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Informática, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 2002. Disponível em:  
<<http://docs.computacao.ufcg.edu.br/posgraduacao/dissertacoes/2002/>>.  
Acesso em: 27 nov. 2014.

MAGUIRE, David J.; BATTY, Michael; GOODCHILD, Michael F.  
(Ed.). **GIS, Spatial Analysis, and Modeling**. Redlands, California: Esri  
Press, 2005. 481 p.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva  
Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo:  
Atlas, 2010. 297 p.

MARTINS, Jani Mara. **Implementação de um Sistema de Informação Predial Utilizando Fotogrametria Digital à Curta Distância**. 2000.  
121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MEDEIROS, João Bosco. **Redação Científica**: a prática de  
fichamentos, resumos, resenhas. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 306 p.

MEIRELLES, Margareth Simões Penello; CÂMARA, Gilberto;  
ALMEIDA, Cláudia Maria de (Ed.). **Geomática**: Modelos e Aplicações Ambientais. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.

MICHAELIS (Santa Catarina). Secretaria de Estado da Educação.  
**Michaelis**: Dicionário prático Língua Portuguesa. 2. ed. São Paulo:  
Melhoramentos, 2009. 952 p.

MOLINA, Manuel G. Alcázar. **Catastro Inmobiliario**. Jaén: Caja Rural de Jaen, 2007. 536 p.

NOVAES, Antônio Galvão. *Modelos em Planejamento Urbano, Regional e de Transporte*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 290 p.

ORTH, Dora Maria *et al.* *Legislação Urbana no Brasil*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5., 2002, Florianópolis. **COBRAC**. Florianópolis: Cobrac, 2002. p. 1 - 5. CD-ROM.

PAEGELOW, Martin; OLMEDO, María Teresa Camacho; TORIBIO, José Menor. *CADENAS DE MARKOV, EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y EVALUACIÓN MULTIOBJETIVO PARA LA MODELIZACIÓN PROSPECTIVA DEL PAISAJE*. **Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, Madrid/Espanha, v. 3, n. 1, p.22-44, dez. 2003.

PALMA, Niara. *Estudos urbanos e geometria fractal*. **Revista de Morfologia Urbana: Revista da Rede Portuguesa de Morfologia Urbana**, Porto, v. 2, n. 1, p.15-24, jul. 2014.

PEDROSA, Bianca Maria. **Ambiente Computacional para Modelagem Dinâmica Espacial**. 2004. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Curso de Pós-graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.

PEDROSA, Bianca Maria; CÂMARA, Gilberto. **Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. 39 p. (INPE-8561-PRE/4305).

PÉREZ-MIRANDA, Ramiro *et al.* *Predicción Espacial de cambios del uso de suelo en Texcoco, Estado de México*. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, DF México, v. 2, n. 5, p.59-72, mar. 2011. Disponível em: <<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/>>. Acesso em: 5 out. 2015.

PHILIPS, Jürgen *et al.* *Necessidade do Engenheiro Cartógrafo no Cadastro de Limites de Propriedade*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 3., 1998, Florianópolis. **COBRAC**. Florianópolis: Cobrac, 1998. p. 1 - 6. CD-ROM.

PINHEIRO JÚNIOR, Nedilo Xavier. **Aplicação de produtos fotogramétricos no estudo da expansão urbana no bairro Vila Nova em Joinville/SC**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

POLIDORI, Maurício Couto. **Crescimento urbano e ambiente**: Um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. 2004. 328 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Ecologia, Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

POLIDORI, Maurício Couto; KRAFTA, Romulo. **Simulando crescimento urbano com integração de fatores naturais, urbanos e institucionais**. Geofocus, Madrid, v. 5, p.156-179, dezembro 2005. ISSN: 1578-5157.

PONTIUS, Robert Gilmore. Quantification Error Versus Location Error in Comparison of Categorical Maps. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Worcester/EEUU, v. 66, n. 8, p.1011-1016, ago. 2000. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

PONTIUS, Robert Gilmore; MILLONES, Marco. **Death to Kappa**: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. International Journal Of Remote Sensing, Londres, v. 32, n. 15, p.4407-4429, ago. 2011.

PORTUGAL, Licínio da Silva; GOLDNER, Lenise Grando. **Estudo de Polos Geradores de Trafego**: e de seus impactos nos sistemas viários e de transporte. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003. 322 p.

RENUNCIO, Luiz Ernesto. **Integração do Cadastro Técnico Multifinalitário a SIG Visando Implantação de um Reservatório para ab**. 1995. 286 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1995.

ROCHA, César Henrique Barra. **Geoprocessamento**: Tecnologia Transdisciplinar. 3. ed. Juiz de Fora, MG: UFJF, 2007. 220 p.

ROSSETTI, Lucimari Aparecida Franco Garcia. **Modelagem Dinâmica Espacial de mudanças no Uso do Solo Urbano**: Contribuição metodológica. 2011. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro/SP, 2011.

RUBIO, Monica Rodrigues Brisolla; BERTOTTI, Luiz Gilberto. O Cadastro Territorial Multifinalitário na implementação dos instrumentos de regulação urbana previstos no Estatuto da Cidade. **Revista Brasileira de Cartografia: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 65, p.227-242, abr. 2013. Mensual. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/560>>. Acesso em: 25 fev. 2015.

RUFINO, Iana Alexandra Alves. **Introdução ao Geoprocessamento**. Campina Grande, PB, 2006. 41 slides, color, 25 cm x 19 cm. Disponível em: <[www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/Disciplinas/SistemaDeInfGeogEDEApoio ?Decis?o/Aula01\\_Intro.ppt](http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/Disciplinas/SistemaDeInfGeogEDEApoio%20Decis%20o/Aula01_Intro.ppt)>. Acesso em: 12 mar. 2015.

SAMPAIO, Daniel Martins. **Modelagem da cobertura do solo urbano no Vetor Norte da RMBH e projeções de cenários futuros considerando as novas infraestruturas viárias previstas**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SANTOS, Roberto Luis dos. **Subsídios para o Plano Diretor visando a Gestão de um Campus Universitário**: Estudo de caso da Universidade da Região de Joinville. 2011. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SANTOS, Sara Isabel Petronilho dos. **Cenários de Alterações de Uso e Ocupação do Solo até 2040 em Portugal Continental**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências e Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

SAATY, Thomas L.. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal Of Services Sciences**, Pittsburgh/usa, v. 1, n. 1, p.83-98, set. 2008. Doi: 10.1504 / IJSSCI.2008.017590.

SCARASSATTI, Daniella Farias. **Modelagem Dinâmica na Projeção de Uso do Solo em função da Rede Viária de Transportes**. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.

SILVA, Ardemirio de Barros. **Sistemas de informação Georreferenciadas: Conceitos e Fundamentos**. Campinas, Sp: Editora da Unicamp, 2003. 240 p.

SILVA, Everton da *et al.* Considerações sobre a Implementação de um Cadastro Técnico Multifinalitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5., 2002, Florianópolis. **COBRAC**. Florianópolis: Cobrac, 2002. p. 1 - 11. CD-ROM.

SILVA, Raquel Radde da. **Aplicação de Imagens Orbitais de Alta Resolução Espacial no Cadastro Técnico Rural Multifinalitário**. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SOARES-FILHO, Britaldo Silveira et al. Modelagem de dinâmica de paisagem: Concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade: Modelagem ambiental e a conservação da biodiversidade**, Belo Horizonte/MG, v. 3, n. 1-2, p.74-86, dez. 2007. Organização "Conservação Internacional".

SOUZA, Genival Corrêa de; SCHAAL, Ricardo Ernesto. Influência de Atributos dos Pontos na Operacionalidade de Redes de Apoio ao Cadastro Rural. In: COBRAC 2004, 5, 2004, Florianópolis. **Anais X Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis: UFSC, 2004. p. 1 - 12. CD-ROM.



TERRA, Talita Nogueira; SILVA, João dos Santos Vila da. Cenário de desmatamento da Bacia do Alto Paraguai (BAP) em 2022 e 2050. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 4., 2012, Bonito/MS. **Anais IV Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Bonito/MS: Embrapa, 2012. p. 741 - 749.

VELDKAMP, A.; LAMBIN, E.F. **Predicting land-use change**. Agriculture, Ecosystems And Environment, Wageningen/Holanda, n. 85, p.1-6, jun. 2001. Disponível em: <<http://uwf.edu/zhu/evr6930/15.pdf>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

VERBURG, Peter H et al. Determinants of land-use change patterns in the Netherland. **Environment And Planning B: Planning and Design**, Great Britain, v. 31, n. 1, p.125-150, 2004. DOI:10.1068/b307.

WEBER, Eliseu et al. Análise de alternativas de traçado de uma estrada utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG. In: IV CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 4., 1998, Curitiba/PR. **Anais do IV Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento**. Curitiba: Gis Brasil 98, 1998. p. 1 - 9.

WHITE, Roger et al. Developing an urban land use simulator for European cities. In: 5TH EC-GIS WORKSHOP: GIS OF TOMORROW, 5., 1999, Stresa/Italia. **Proceedings of the 5th EC-GIS Workshop: GIS of Tomorrow**. Stresa/Italia: European Commission Joint Research Centre, 2000. p. 179 - 190.

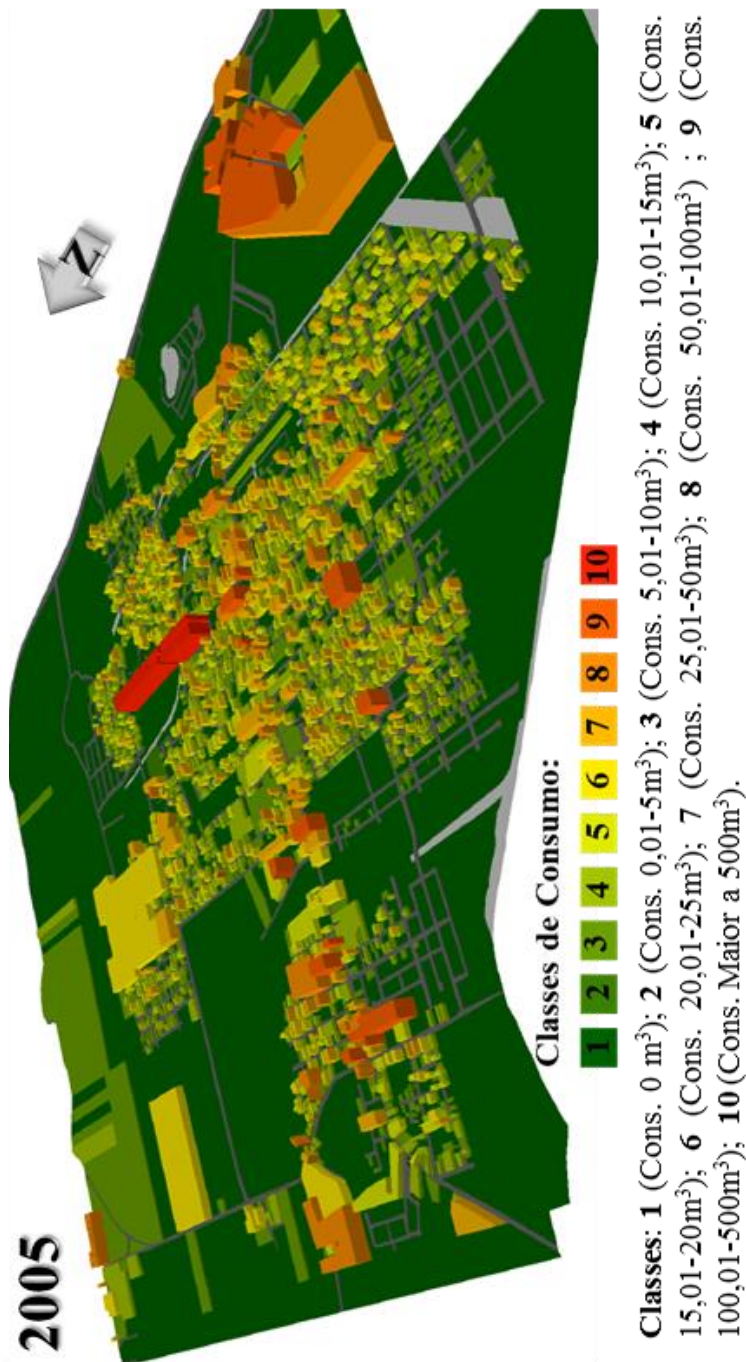
WILLIAMSON, Ian P. **A modern Cadastre for New South Wales**. 1983. 325 f. Tese (Doutorado) - Curso de School Of Surveying, University Of New South Wales, Sydney, 1983. Disponível em: <[http://www.sli.unimelb.edu.au/research/SDI\\_research/publications/file/s/ipw\\_83\\_PhD.pdf](http://www.sli.unimelb.edu.au/research/SDI_research/publications/file/s/ipw_83_PhD.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2015.

WOLFRAM, Stephen. **Statistical mechanics of cellular automata**. Review Of Modern Physics, Princeton, New Jersey, v. 55, n. 3, p.601-644, jul. 1983.



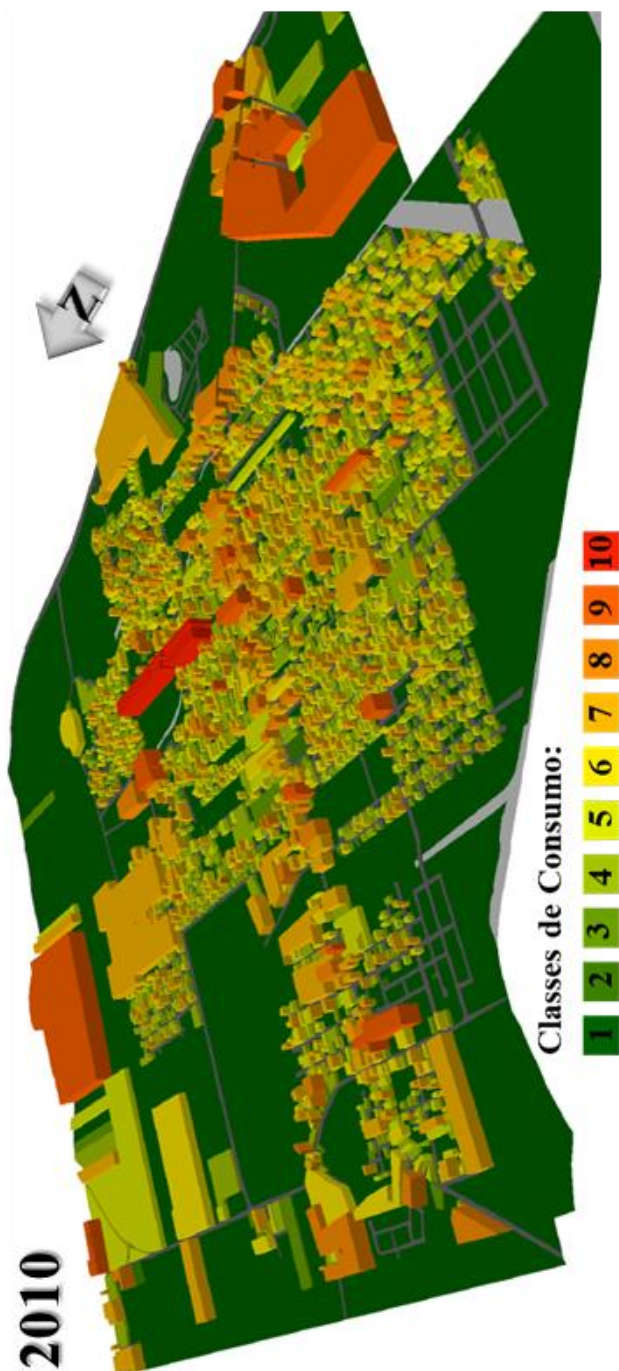
## APÊNDICES

APÊNDICE A - CONSUMO DOS LOTES DO ANO 2005 REPRESENTADO POR EXTRUSÃO TRIDIMENSIONAL NO BAIRRO DE VILA NOVA.



Fonte: O autor (2016).

APÊNDICE B - CONSUMO DOS LOTES DO ANO 2010 REPRESENTADO POR EXTRUSÃO TRIDIMENSIONAL NO BAIRRO DE VILA NOVA.



**Classes:** 1 (Cons. 0 m<sup>3</sup>); 2 (Cons. 0,01-5m<sup>3</sup>); 3 (Cons. 5,01-10m<sup>3</sup>); 4 (Cons. 10,01-15m<sup>3</sup>); 5 (Cons. 15,01-20m<sup>3</sup>); 6 (Cons. 20,01-25m<sup>3</sup>); 7 (Cons. 25,01-50m<sup>3</sup>); 8 (Cons. 50,01-100m<sup>3</sup>) ; 9 (Cons. 100,01-500m<sup>3</sup>); 10 (Cons. Maior a 500m<sup>3</sup>).

Fonte: O autor (2016).

APÊNDICE C - CONSUMO DOS LOTES DO ANO 2015 REPRESENTADO POR EXTRUSÃO TRIDIMENSIONAL NO BAIRRO DE VILA NOVA.

2015

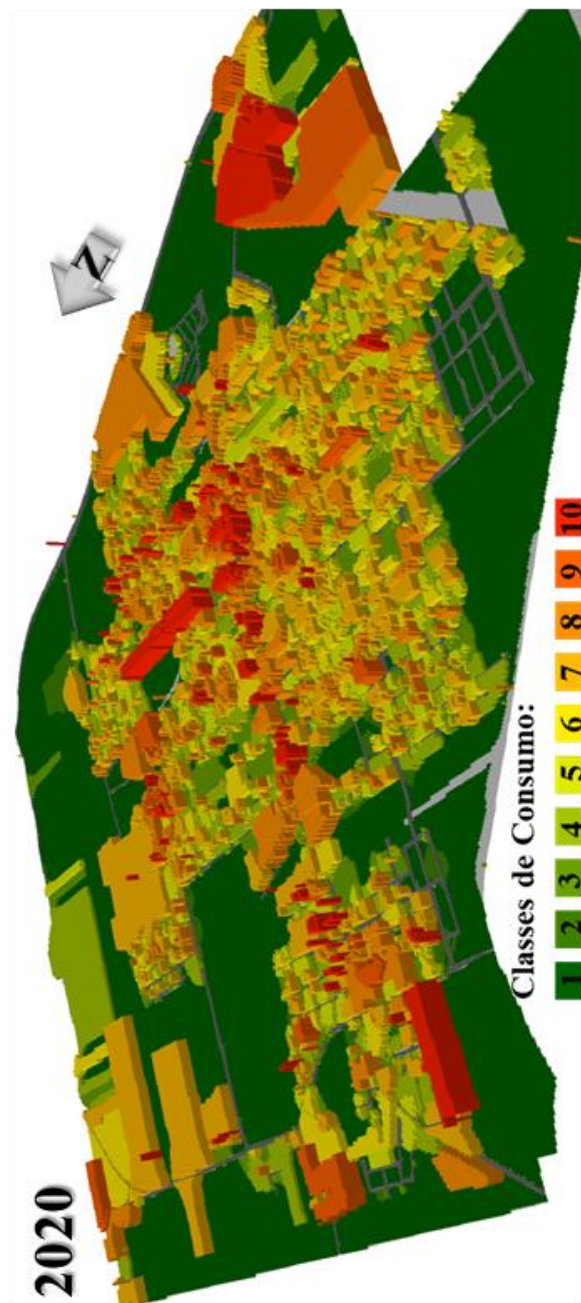


**Classes:** **1** (Cons. 0 m<sup>3</sup>); **2** (Cons. 0,01-5m<sup>3</sup>); **3** (Cons. 5,01-10m<sup>3</sup>); **4** (Cons. 10,01-15m<sup>3</sup>); **5** (Cons. 15,01-20m<sup>3</sup>); **6** (Cons. 20,01-25m<sup>3</sup>); **7** (Cons. 25,01-50m<sup>3</sup>); **8** (Cons. 50,01-100m<sup>3</sup>) ; **9** (Cons. 100,01-500m<sup>3</sup>); **10** (Cons. Maior a 500m<sup>3</sup>).

Fonte: O autor (2016).

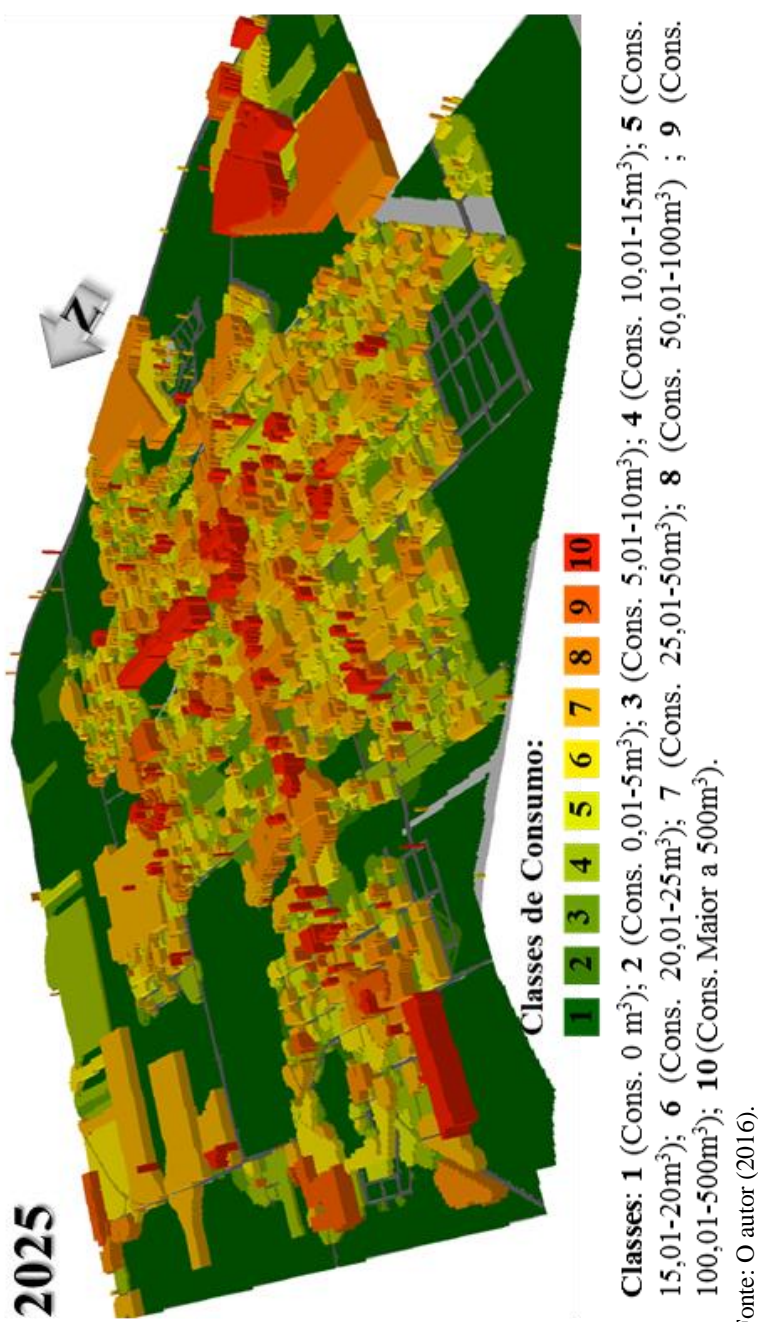


APÊNDICE D - CONSUMO DOS LOTES DO ANO 2020 REPRESENTADO POR EXTRUSÃO TRIDIMENSIONAL NO BAIRRO DE VILA NOVA.



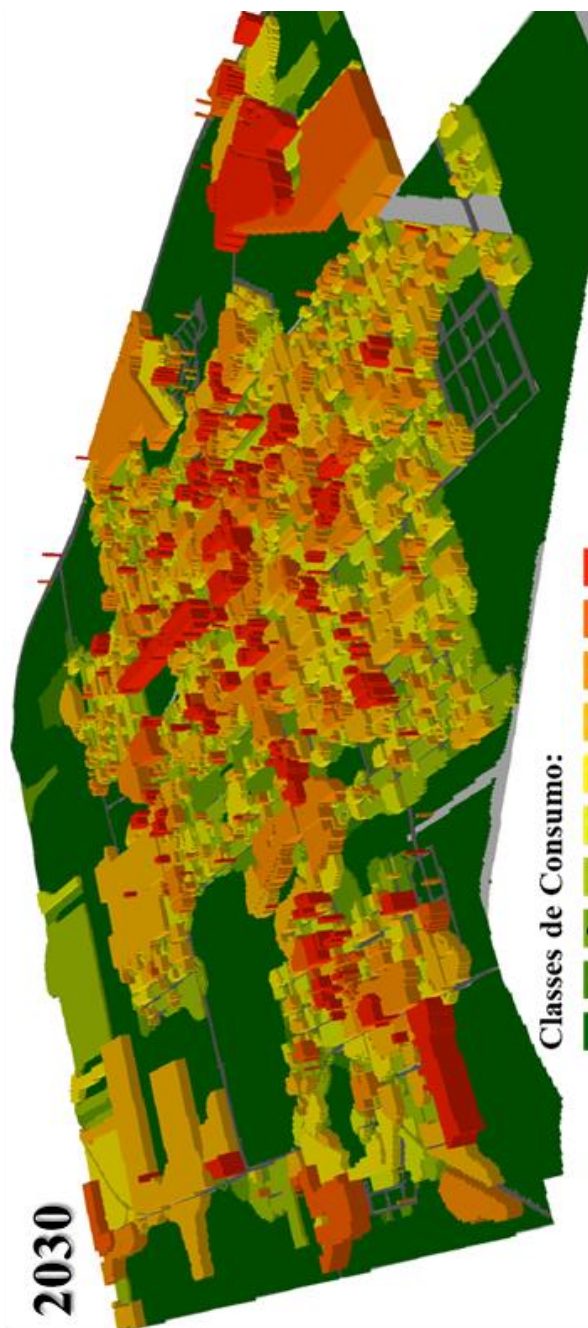
Fonte: O autor (2016).

APÊNDICE E - CONSUMO DOS LOTES DO ANO 2025 REPRESENTADO POR EXTRUSÃO TRIDIMENSIONAL NO BAIRRO DE VILA NOVA.





APÊNDICE F - CONSUMO DOS LOTES DO ANO 2030 REPRESENTADO POR EXTRUSÃO TRIDIMENSIONAL NO BAIRRO DE VILA NOVA.



**Classes:** **1** (Cons. 0 m³); **2** (Cons. 0,01-5m³); **3** (Cons. 5,01-10m³); **4** (Cons. 10,01-15m³); **5** (Cons. 15,01-20m³); **6** (Cons. 20,01-25m³); **7** (Cons. 25,01-50m³); **8** (Cons. 50,01-100m³) ; **9** (Cons. 100,01-500m³); **10** (Cons. Maior a 500m³).

Fonte: O autor (2016).